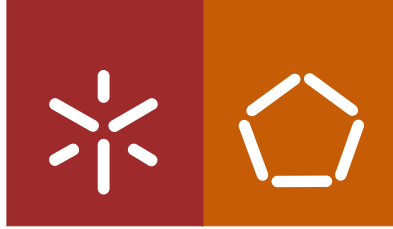


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Mónica de La Salette Assunção Santos

Gestão de Projetos:
Problema do Escalonamento em Projetos Multinível



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Mónica de La Salette Assunção Santos

**Gestão de Projetos:
Problema do Escalonamento em Projetos
Multinível**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia de Sistemas

Trabalho realizado sob a orientação da
Professora Doutora Anabela Pereira Tereso

Outubro de 2011

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, ____/ ____/ _____

Assinatura: _____

Resumo

O problema apresentado aqui pertence à classe dos problemas de escalonamento de projetos com atividades multinível (ou multimodo), ou em terminologia anglo-saxónica: *Multi-mode, Multi-skill Resource Constrained Project Scheduling Problem* (MRCPSP-MS).

Isto significa que as atividades podem ser executadas em modos diferentes, cada modo utiliza níveis de recursos diferentes, o que implica diferentes custos e durações. A cada atividade deve ser alocada exatamente uma unidade de cada recurso necessário e a unidade de recurso pode ser usada em qualquer um dos seus níveis definidos. O tempo de processamento de uma atividade é dado pelo máximo da duração que resultaria de uma alocação específica de recursos. O objetivo é encontrar a melhor solução que minimize o custo global do projeto, respeitando a data de entrega. Está incluída uma penalidade, para atrasos além da data de entrega especificada e um bônus para a conclusão antecipada do projeto.

Num algoritmo *Breadth First Search* (BFS), todos os nós (soluções parciais) na árvore de pesquisa, são avaliados em cada etapa antes de prosseguir, efetuando assim uma pesquisa exaustiva, que visita todos os nós da árvore. A técnica *Branch and Bound* (B&B) pode ser vista como um BFS “polido”, uma vez que aplica alguns critérios, a fim de reduzir a complexidade BFS. Geralmente consiste em guardar a melhor solução encontrada até o momento, descartando um nó se este não puder oferecer uma solução melhor. O procedimento *Filtered Beam Search* (FBS) é uma heurística B&B que utiliza BFS mas apenas os melhores nós são mantidos. Em cada estágio da árvore, são gerados todos os sucessores para os nós selecionados na etapa atual, mas só é guardado um número predefinido de nós descendentes, denominado *beam width*.

Em Santos e Tereso (2010a), apresentamos um modelo formal para MRCPSP-MS e um procedimento BFS. Depois, em Santos e Tereso (2010b), apresentamos a adaptação de um algoritmo FBS a este problema. Em Santos e Tereso (2011a, 2011b), relatamos resultados computacionais, testando a aplicação através de projetos de diferentes dimensões.

A aplicação desenvolvida permite determinar a solução do projeto, usando o algoritmo BFS ou o algoritmo FBS. A implementação foi projetada utilizando a linguagem C#.

Abstract

The problem presented here belongs to the class of the optimization scheduling problems with multi-level (or multi-mode) activities, i.e., the Multi-mode, Multi-skill Resource Constrained Project Scheduling Problem (MRCPSP-MS).

This means that the activities can be scheduled at different modes, each mode using a different resource level, implying different costs and durations. Each activity must be allocated exactly one unit of each required resource and the resource unit may be used at any of its specified levels. The processing time of an activity is given by the maximum of the durations that would result from a specific allocation of resources. The objective is to find the optimal solution that minimizes the overall project cost, while respecting a delivery date. A penalty and a bonus are included, for tardiness beyond the specified delivery date and for early completion, respectively.

In a Breadth First Search (BFS) algorithm, all the nodes (partial solutions) in the search tree are evaluated at each stage before going any deeper, subsequently realizing an *exhaustive search* that visits all nodes of the search tree. The branch and bound (B&B) search technique can be seen as a *polished* breadth first search, since it applies some criteria in order to reduce the BFS complexity. Usually it consists of keeping track of the best solution found so far, discarding a node if it cannot offer a better solution. A Filtered Beam Search (FBS) is a heuristic B&B procedure that uses BFS but only the top best nodes are kept. At each stage of the tree, it generates all successors for the selected nodes at the current stage, but only stores a preset number of descendent nodes at each stage, called the *beam width*.

In Santos and Tereso (2010a) we presented a formal model MRCPSP-MS and a breadth-first search procedure description. Then in Santos and Tereso (2010b) we presented an adaptation of a FBS algorithm to this problem. In Santos and Tereso (2011a, 2011b) we reported on further computational results, by testing the application for different problem sizes.

The application developed allows determining the project solution using the BFS algorithm or the FBS algorithm procedure. The implementation was designed using the C# language.

Agradecimentos

Desejo exprimir o meu reconhecimento a todas as entidades que de alguma forma contribuíram para a concretização desta tese.

Esta dissertação só foi possível graças ao apoio e motivação que recebi, mesmo quando as solicitações profissionais eram mais exigentes.

Em particular, agradeço à minha orientadora, a Professora Doutora Anabela Pereira Tereso, toda a compreensão, o incentivo, apoio e disponibilidade que me dedicou. Foi com grande prazer que pude desenvolver este trabalho sob a sua coordenação e orientação.

Presto um agradecimento especial, ao Prof. Elmaghraby, um perito emérito na área. A sua preciosa ajuda foi muito importante neste trabalho. Foi uma grande honra conhecê-lo, agradeço toda a sua receptividade e boa disposição.

Agradeço a todos os meus professores e colegas, que me acompanharam na minha formação académica. A todos autores dos documentos que me serviram de referência e elucidação.

Por fim agradeço a todos que me são queridos, à minha família, amigos e ao meu companheiro Bruno, toda a força e ânimo que me transmitiram.

Índice

Resumo	iii
Abstract	iv
Agradecimentos	v
Índice	vi
Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xii
Lista de Siglas e Acrónimos	xiii
1. Introdução	1
1.1. Objetivos	1
1.2. Metodologia de Investigação	2
1.3. Organização da dissertação	5
2. Revisão Crítica da Literatura	7
2.1. Gestão de Projetos	7
2.2. Objetivos de um RCPSP	13
2.2.1 Objetivo NPV	15
2.2.2 Projetos Multiobjetivo	16
2.3. As restrições	17
2.4. Heurísticas	18
2.5. Soluções ótimas do RCPSP	21
3. Problema do Escalonamento em Projetos Multinível	23
3.1. Descrição do problema	23
3.2. Modelo Matemático	26
3.3. Exemplo de uma rede de 3 atividades	30

4. Procedimento	32
4.1. Branch and Bound	32
4.1.1 Branching	32
4.1.2 Bounding	34
4.2. Filtered Beam Search	34
4.3. Descrição do procedimento aplicado	35
5. Software	39
5.1. Modelo de dados	39
5.2. Funcionalidades	41
5.3. Detalhes da Implementação	41
5.3.1 Edição/Criação de projetos	42
5.3.2 Determinar solução do projeto	47
6. Resultados	49
6.1. Rede 3 atividades	49
6.2. Rede 5 atividades	51
6.3. Rede 10 atividades	52
6.4. Rede 20 atividades	54
6.5. Rede 30 atividades	56
7. Conclusões e trabalho futuro	59
7.1. Conclusões	59
7.2. Trabalho futuro	60
Bibliografia	62
Anexos	66
A. Rede 3 atividades	66
1. Resultado BFS Algorithm	66
2. Resultado BW: 20 ET: Cost_Duration	66
3. Resultado BW: 50 ET: Cost_Duration	67
4. Resultado BW: 200 ET: Cost_Duration	67
5. Resultado BW: 450 ET: Cost_Duration	68
6. Resultado BW: 700 ET: Cost_Duration	68
7. Resultado BW: 900 ET: Cost_Duration	69

8.	Resultado BW: 20 ET: Cost	69
9.	Resultado BW: 50 ET: Cost	70
10.	Resultado BW: 200 ET: Cost	70
11.	Resultado BW: 450 ET: Cost	71
12.	Resultado BW: 700 ET: Cost	71
13.	Resultado BW: 900 ET: Cost	72
14.	Resultado BW: 20 ET: Duration	72
15.	Resultado BW: 50 ET: Duration	73
16.	Resultado BW: 200 ET: Duration	73
17.	Resultado BW: 450 ET: Duration	74
18.	Resultado BW: 700 ET: Duration	74
19.	Resultado BW: 900 ET: Duration	75
B.	Rede 5 atividades	76
1.	Resultado BFS Algorithm	76
2.	Resultado BW: 50 ET: Cost_Duration	76
3.	Resultado BW: 500 ET: Cost_Duration	77
4.	Resultado BW: 5000 ET: Cost_Duration	78
5.	Resultado BW: 10000 ET: Cost_Duration	78
6.	Resultado BW: 50000 ET: Cost_Duration	79
7.	Resultado BW: 100000 ET: Cost_Duration	80
8.	Resultado BW: 50 ET: Cost	80
9.	Resultado BW: 500 ET: Cost	81
10.	Resultado BW: 5000 ET: Cost	81
11.	Resultado BW: 10000 ET: Cost	82
12.	Resultado BW: 50000 ET: Cost	83
13.	Resultado BW: 100000 ET: Cost	83
14.	Resultado BW: 50 ET: Duration	84
15.	Resultado BW: 500 ET: Duration	85
16.	Resultado BW: 5000 ET: Duration	85
17.	Resultado BW: 10000 ET: Duration	86
18.	Resultado BW: 50000 ET: Duration	87
19.	Resultado BW: 100000 ET: Duration	87
C.	Rede 10 atividades	88
1.	Resultado BW: 50 ET: Cost_Duration	88
2.	Resultado BW: 500 ET: Cost_Duration	89
3.	Resultado BW: 1000 ET: Cost_Duration	90
4.	Resultado BW: 5000 ET: Cost_Duration	91

5.	Resultado BW: 10000 ET: Cost_Duration	92
6.	Resultado BW: 50000 ET: Cost_Duration	93
7.	Resultado BW: 50 ET: Cost	94
8.	Resultado BW: 500 ET: Cost	95
9.	Resultado BW: 1000 ET: Cost	96
10.	Resultado BW: 5000 ET: Cost	97
11.	Resultado BW: 10000 ET: Cost	98
12.	Resultado BW: 50000 ET: Cost	99
13.	Resultado BW: 50 ET: Duration	100
14.	Resultado BW: 500 ET: Duration	101
15.	Resultado BW: 1000 ET: Duration	102
16.	Resultado BW: 5000 ET: Duration	103
17.	Resultado BW: 10000 ET: Duration	104
18.	Resultado BW: 50000 ET: Duration	105
D.	Rede 20 atividades	106
1.	Resultado BW: 50 ET: Cost_Duration	106
2.	Resultado BW: 500 ET: Cost_Duration	107
3.	Resultado BW: 1000 ET: Cost_Duration	108
4.	Resultado BW: 2000 ET: Cost_Duration	110
5.	Resultado BW: 3000 ET: Cost_Duration	111
6.	Resultado BW: 5000 ET: Cost_Duration	113
7.	Resultado BW: 10000 ET: Cost_Duration	114
8.	Resultado BW: 50 ET: Cost	115
9.	Resultado BW: 500 ET: Cost	117
10.	Resultado BW: 1000 ET: Cost	118
11.	Resultado BW: 2000 ET: Cost	119
12.	Resultado BW: 3000 ET: Cost	121
13.	Resultado BW: 5000 ET: Cost	122
14.	Resultado BW: 10000 ET: Cost	124
15.	Resultado BW: 50 ET: Duration	125
16.	Resultado BW: 500 ET: Duration	126
17.	Resultado BW: 1000 ET: Duration	128
18.	Resultado BW: 2000 ET: Duration	129
19.	Resultado BW: 3000 ET: Duration	130
E.	Rede 30 atividades	132
1.	Resultado BW: 50 ET: Cost_Duration	132
2.	Resultado BW: 500 ET: Cost_Duration	134

3.	Resultado BW: 1000 ET: Cost_Duration	136
4.	Resultado BW: 2000 ET: Cost_Duration	138
5.	Resultado BW: 5000 ET: Cost_Duration	140
6.	Resultado BW: 10000 ET: Cost_Duration	141
7.	Resultado BW: 50 ET: Cost	143
8.	Resultado BW: 500 ET: Cost	145
9.	Resultado BW: 1000 ET: Cost	147
10.	Resultado BW: 2000 ET: Cost	149
11.	Resultado BW: 5000 ET: Cost	151
12.	Resultado BW: 10000 ET: Cost	153
13.	Resultado BW: 50 ET: Duration	155
14.	Resultado BW: 500 ET: Duration	159
15.	Resultado BW: 1000 ET: Duration	161
16.	Resultado BW: 2000 ET: Duration	163
17.	Resultado BW: 5000 ET: Duration	165
18.	Resultado BW: 10000 ET: Duration	166

Índice de Figuras

Figura 1 - Diagrama de Gantt (Carmo, 2006).	9
Figura 2 - Rede com atividades nos arcos (Carmo, 2006).	9
Figura 3 - Rede com atividades nos nós (Carmo, 2006).	9
Figura 4 - Formulação do modelo RCPSP (Demeulemeester e Herroelen, 1996).	12
Figura 5 - Pseudo-código da estrutura básica de um Algoritmo Genético.	21
Figura 6 - Representação AoN de um projeto de 3 atividades.	25
Figura 7 - Representação AoA de um projeto de 3 atividades.	25
Figura 8 - Árvore obtida fazendo <i>branch</i> na variável x_2 .	33
Figura 9 - Árvore completa de <i>branching</i> .	33
Figura 10 - Travessia BFS	35
Figura 11 - Exemplo de uma árvore <i>Beam Search</i> de “ <i>beam width</i> ” igual a 3.	35
Figura 12 - Diagrama do Modelo de Dados.	40
Figura 13 - Prints da aplicação	42
Figura 14 - Passo 1 do assistente de criação de projeto.	42
Figura 15 - Passo 2 do assistente de criação de projeto.	43
Figura 16 - Passo 3 do assistente de criação de projeto	43
Figura 17 - Passo 4 do assistente de criação de projeto.	44
Figura 18 - Passo 4 do assistente de criação de projeto.	44
Figura 19 - Janela principal da aplicação.	45
Figura 20 - Validação de projetos.	46
Figura 21 - Guardar/Abrir projeto.	46
Figura 22 - Excerto do ficheiro xml que representa um projeto.	47
Figura 23 - Parâmetros usados no procedimento para obtenção de uma solução.	48
Figura 24 - Apresentação da solução de um projeto.	48
Figura 25 - BFS aplicado a rede de 3 atividades.	49
Figura 26 - BFS aplicado a rede de 5 atividades.	51
Figura 27 - Aplicação com rede de 10 atividades.	53
Figura 28 - Aplicação com rede de 20 atividades (1ª parte).	54
Figura 29 - Aplicação com rede de 20 atividades (2ª parte).	55
Figura 30 - Aplicação com rede de 30 atividades (1ª parte).	57
Figura 31 - Aplicação com rede de 30 atividades (2ª parte).	57

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Características do problema	24
Tabela 2 - Tempos de Processamento e Custo dos Recursos.	25
Tabela 3 - Tempos de Processamento e Custo dos Recursos.	30
Tabela 4 - Totais da solução BFS para rede de 3 atividades.	50
Tabela 5 - Totais da solução FBS para rede de 3 atividades.	50
Tabela 6 - Totais da solução BFS para rede de 5 atividades.	51
Tabela 7 - Totais da solução FBS para rede de 5 atividades.	52
Tabela 8 - Totais da solução FBS para rede de 10 atividades.	53
Tabela 9 - Totais da solução FBS para rede de 20 atividades.	55
Tabela 10 - Totais da solução FBS para rede de 30 atividades.	58

Lista de Siglas e Acrónimos

AoA	Activity-on-Arc
AoN	Activity-on-Node
APM	Association for Project Management
B&B	Branch-and-Bound
BFS	Breadth-First Search
BW	Beam Width
C#	C Sharp
CI	Criticality Index
CPM	Critical Path Method
EM	Electromagnetism-like Mechanism
ET	Evaluation type
EUA	Estados Unidos da América
FBS	Filtered Beam Search
FIFO	First In First Out
GA	Genetic Algorithm
GHz	Gigahertz
MATLAB	MATrix LABoratory
MMRCMPSP	Multi-mode Resource-Constrained Multi-project Scheduling Problem
MRCPSP-MS	Multi-mode, Multi-skill Resource Constrained Project Scheduling Problem
NPV	Net Present Value
OGC	Office of Government Commerce
OPM3	Organizational Project Management Maturity Model
PERT	Program Evaluation and Review Technique
PLC	Project Live Cycle
PMBok	Project Management Body of Knowledge
PMCDF	Project Manager Competency Development Framework
PMI	Project Management Institute
POO	Programação Orientada a Objectos
PRINCE2	PRojects IN Controlled Environments 2
PSA	Parallel Scheduling Algorithm
RAM	Random-access memory
RCPSP	Resource-Constrained Project Scheduling Problem
SA	Simulated Annealing
TCPSP	Time-Constrained Project Scheduling Problem
TS	Tabu Search
UNIVAC1	UNIVersal Automatic Computer 1
VAL	Valor Atual Líquido
WPF	Windows Presentation Foundation
XML	Extensible Markup Language

1. Introdução

Esta dissertação debruça-se no estudo de uma extensão do problema de escalonamento em projetos com restrição de recursos (*Resource-Constrained Project Scheduling Problem* (RCPSP)), que pertence à classe de problemas NP-Completo, como demonstrado por Blazewicz *et al.* (1983). Estes problemas de escalonamento surgem no âmbito da gestão de projetos. Gestão de projetos é a aplicação de conhecimento, competências, ferramentas e técnicas às atividades do projeto, de modo a alcançar os objetivos pretendidos, que podem ser económicos, financeiros, sociais ou políticos. Esses objetivos pré-definidos devem ser cumpridos num determinado prazo, a um determinado custo e qualidade, através da utilização de recursos tecnológicos e humanos.

1.1. Objetivos

A presente investigação estuda uma extensão do RCPSP. O problema faz parte da classe de problemas de escalonamento para projetos de atividades multinível (ou multimodo). Cada atividade deve alocar apenas uma unidade de cada recurso que necessita, e essa unidade deverá ser usada a um dos níveis especificados para o recurso. O tempo de processamento da atividade é obtido pelo máximo das durações que resultam de um determinado modo de alocação de recursos. O objetivo é encontrar a solução ótima que minimiza o custo total do projeto, incluindo uma penalização por atraso em relação à data definida de entrega, ou um bônus por entrega antecipada.

Nesta dissertação, pretende-se apresentar o problema em detalhe assim como o seu modelo matemático. Serão estudados algoritmos baseados no procedimento *Branch-and-Bound* (B&B), usando travessia *Breadth-First Search* (BFS). O primeiro algoritmo proposto faz uma busca exaustiva, analisando todas as combinações possíveis para os diferentes níveis de recursos e para as atividades, no entanto, para decidir entre as atividades a executar, no caso de existência de conflitos de recursos, aplicará um conjunto de regras heurísticas. O segundo algoritmo proposto é uma adaptação do primeiro; trata-se de um algoritmo *Beam Search* que

permite descartar combinações possíveis de níveis de recursos e de atividade, usando determinadas regras de avaliação dos ramos (de soluções) candidatos.

Será ainda apresentada a implementação, em C#, de um *software* próprio, para a definição e resolução de problemas de escalonamento multinível, assim como os resultados computacionais obtidos.

1.2. Metodologia de Investigação

A metodologia de investigação consiste num conjunto de abordagens, técnicas e processos utilizados pela ciência para formular e resolver problemas de contribuição ao conhecimento, de um modo metódico. Assim os conhecimentos científicos são produzidos com rigor, a partir de pesquisa. Existem diferentes formas de conhecimento e diferentes tipos de ciências. Por exemplo, as Ciências Humanas, lidam mais com ideias e questões teóricas, dispensam, ao contrário das Ciências Naturais, o trabalho em laboratório; as Ciências Sociais, normalmente são aplicadas no mundo empresarial; já as Ciências Formais e as Ciências Exatas são mais ligadas à área tecnológica e de engenharia. O que as diferencia, em especial, é a metodologia de investigação que utilizam.

O processo de formular e clarificar o tópico de investigação é uma das partes mais importantes da metodologia. Este processo faz uso de técnicas variadas, incluindo as que envolvem pensamento racional e pensamento criativo. Faz também parte da metodologia, escrever uma proposta de investigação, esta ajuda a organizar ideias e pode ser pensada como um contrato entre o investigador e o leitor, definindo o que se propõe fazer, porquê, o que pretende alcançar e como planeia alcançá-lo.

No caso desta dissertação, a escolha do tema foi influenciada por projetos do passado e por disciplinas anteriores. A técnica usada englobou pensamento racional e pensamento criativo. O tema cumpre os atributos de um bom tópico de investigação nomeadamente por pertencer a uma área que considero muito interessante, com muitos desafios, já que é constituída de muitos problemas difíceis de resolver.

A investigação pode ser distinta de uma recolha inteligente. Saunders *et al.* (2008): refere o trabalho de Phillips and Pugh (1994) onde distinguem entre investigação e recolha inteligente. Recolha inteligente é recolha de factos. Por exemplo a questão “Qual é a despesa corrente, por trabalhador, no Reino Unido, em formação?” corresponde geralmente ao início da investigação. Estes autores debatem as perguntas “Qual ou Que” com as “Porquê”. A partir da primeira

questão, surge naturalmente a questão “Porque é que as organizações Britânicas gastam menos em formação por pessoa do que as Alemãs?”. Um pequeno passo, encaminha-nos das perguntas “Porquê” ao teste de uma teoria existente, ou ao desenvolvimento de uma teoria nova, ou seja a investigação.

As questões colocadas no âmbito da investigação devem ser baseadas na literatura relevante e actuar como foco principal na investigação subsequente. Assim a revisão crítica da literatura estabelece as bases da investigação a desenvolver.

Normalmente a revisão bibliográfica é feita de forma afunilada, isto é de uma pesquisa mais geral da área de estudo da investigação passa-se para uma pesquisa mais específica, concernente aos objectivos concretos da investigação. Há diferentes fontes bibliográficas disponíveis: fontes primárias (ex.: relatórios, teses), secundárias (ex.: livros, revistas científicas) e terciárias (ex.: ferramentas de pesquisa). Normalmente as fontes mais usadas são as secundárias.

Para o problema aqui estudado, a pesquisa bibliográfica foi feita definindo como parâmetros de pesquisa a língua inglesa e portuguesa, e como área a gestão de projetos. O período de publicação não foi pré definido. Na literatura da área encontram-se muitos contributos com mais de vinte anos que continuam válidos e uma referência a considerar.

As palavras-chaves usadas foram: “problema de escalonamento”, “*scheduling problem*”, “*RCPSP*”, “*multi-mode*”, “*multi-level*”. Com estas chaves formou-se uma pesquisa afunilada, as primeiras retornaram bibliografia de âmbito mais geral e as últimas, mais específica.

Foram utilizadas duas fontes terciárias: a pesquisa na internet foi feita através do motor de busca www.google.pt, e a pesquisa mais específica de artigos científicos foi feita na b-on (www.b-on.pt). Destas pesquisas foram obtidas fontes secundárias, concretamente artigos científicos, para além dos fornecidos pela minha orientadora.

Existem duas abordagens possíveis, a considerar numa investigação: a dedutiva (testar a teoria a partir de dados) e a indutiva (explorar dados para desenvolver hipóteses). Sendo que estas não são necessariamente mutuamente exclusivas. Dependendo do caso de estudo em causa e dos objectivos, o investigador decidirá qual das abordagens é preferível. Aqui o problema em estudo, sugere a aplicação de uma “simbiose” das duas abordagens, isto é, por um lado foi desenvolvida e aplicada uma teoria que elabora um plano de escalonamento das atividades e modo de utilização dos recursos, por outro lado essa mesma teoria explora os dados dos projectos em questão para sugerir as melhores hipóteses de escalonamento.

A natureza da investigação pode ainda classificar-se como exploratória, descritiva e explicativa, sendo a forma de abordagem do problema distinta.

- A pesquisa exploratória visa uma maior familiaridade com o problema. Determina tendências e é um ponto de partida para pesquisas futuras mais elaboradas e rigorosas. Normalmente é de natureza qualitativa, usa levantamento bibliográfico, entrevistas ou questionários a pessoas que tiveram alguma experiência com o problema.
- A pesquisa descritiva especifica as propriedades, características e perfis de grupos, comunidades ou outro tipo de elemento de estudo. Usa geralmente análise estatística. Tem natureza quantitativa, mas pode ser quantitativa e qualitativa ao mesmo tempo, se for usada análise estatística de amostras não-probabilísticas.
- A pesquisa explicativa procura aprofundar o conhecimento da realidade, estabelecer relações casuais entre variáveis. Este tipo de pesquisa consiste na maioria das vezes, num aprofundamento da pesquisa exploratória ou da pesquisa descritiva. Este é o tipo de pesquisa que mais se enquadra neste projecto de investigação.

Temos ainda outros tipos de classificação relativos a diferentes estratégias de investigação, descritas em Saunders *et al.* (2008):

- Experimentação/Experiment (estratégia clássica muito próxima das ciências naturais, mas com forte componente de ciências sociais, em particular da psicologia):
 - ✓ definição de hipóteses
 - ✓ selecção de amostras a partir de populações conhecidas
 - ✓ alocação das amostras a diferentes condições experimentais
 - ✓ introdução de alterações planeadas numa ou mais variáveis
 - ✓ medição das poucas variáveis em análise
 - ✓ controlo das restantes variáveis
- Levantamento/Survey
 - ✓ muito popular e frequente em economia e gestão
 - ✓ permite obter grandes quantidades de dados de uma determinada população de modo bastante económico
 - ✓ a obtenção de dados é padronizada, permitindo comparações; pode não ser tão vasta como a obtida com métodos qualitativos (nº de respostas/perguntas tem de ter tamanho apropriado).
 - ✓ recorre a diferentes técnicas como: inquéritos; observações estruturadas e entrevistas estruturadas.

- Caso de estudo/Case study (desenvolvimento de conhecimento detalhado, intensivo, acerca de um caso, ou um pequeno número de casos relacionados; particularmente útil para responder ao porquê, ao quê?, ao como?)
 - ✓ técnicas usadas incluem entrevistas, observação, análise de conteúdos e questionários
 - ✓ pode ser uma forma válida de explorar teoria existente
 - ✓ pode ser uma forma válida de questionar teoria existente e fornecer novas hipóteses.
- Teoria fundamentada/grounded theory (dados-hipóteses-dados, requer análises qualitativas).
- Etnografia/Ethnography (baseada na abordagem indutiva – pressupõe vivência do investigador com os sujeitos objecto do estudo).
- Investigação-acção/action research (particularmente dirigida para transferência de tecnologia – acção).

O problema aqui apresentado aplica a estratégia de investigação Experimentação/Experiment, uma vez que esta estratégia consiste basicamente, em manipular de forma direta as variáveis relacionadas ao objeto de estudo e definir formas de controlo dos resultados obtidos.

1.3. Organização da dissertação

Neste capítulo apresenta-se uma introdução ao tema da dissertação. O Capítulo 2 mostra a revisão do “estado da arte”. É feita uma síntese das várias características e extensões que os problemas de escalonamento podem acolher. A grande finalidade é desenvolver uma compreensão satisfatória da área em causa, examinando para tal investigações anteriores na área de escalonamento de projetos e adquirindo assim um reconhecimento de campo relativamente aos investigadores mais importantes da área. Isto permitirá contextualizar a investigação a ser desenvolvida, ao acrescentar um indispensável elo à teoria.

O Capítulo 3 exhibe detalhadamente o problema tratado nesta dissertação. É apresentada uma descrição formal do problema e o respetivo modelo matemático. Também é feita uma ilustração do problema usando uma pequena rede exemplo de 3 atividades.

No Capítulo 4 expõe-se os passos seguidos, para definição dos algoritmos desenvolvidos para este problema, descrevendo-os em pormenor. No Capítulo 5, passa-se à implementação do algoritmo definido, descrevendo em detalhe o desenvolvimento do *software*. A aplicação desenvolvida permite, resumidamente, a definição de projetos do tipo multinível, a sua

visualização em forma de grafo e a obtenção da solução para o escalonamento das atividades e respetivo modo, usando o algoritmo BFS ou o *Filtered Beam Search* (FBS).

O Capítulo 6 apresenta os resultados computacionais obtidos para algumas redes, fazendo um comparativo entre os dois algoritmos implementados e as diferentes funções de avaliação que podem ser usadas no algoritmo FBS. Por fim o Capítulo 7 apresenta as conclusões gerais e perspectivas de trabalho futuro.

2. Revisão Crítica da Literatura

Na classificação de vários modelos de escalonamento de projetos com restrição de recursos encontrados na literatura, pode-se considerar dois atributos importantes presentes num modelo: os objetivos e as restrições.

Considerando que o problema é NP-Completo, os algoritmos não podem encontrar a solução ótima para problemas grandes e complexos em tempo polinomial. Foram assim desenvolvidas heurísticas para apresentar maneiras de se poder resolver problemas reais com boas soluções.

No próximo subcapítulo é feita uma síntese dos principais conceitos relacionados com a área de estudo: gestão de projetos. Nos restantes subcapítulos, são analisados artigos e distinguidas várias características que se podem encontrar num problema RCPSP.

2.1. Gestão de Projetos

Tereso (2002) enumera várias definições de projeto, não existindo uma definição que se adeque a todas as situações. No entanto uma das definições que reúne grande concordância diz basicamente: um projeto consiste num processo único, cuja realização é requerida uma vez e que visa um objetivo específico, por exemplo minimizar uma medida de desempenho baseada num ou vários critérios, tendo que cumprir restrições de tempo, custo e recursos.

Steiner (1969:498) definiu um projeto como: *“An organization of people dedicated to a specific purpose or objective. Projects generally involve large, expensive, unique or high risk undertaking which have to be completed by a certain date, for a certain amount of money, within some expected level of performance”*.

No contexto desta dissertação, consideramos o projeto como um conjunto de atividades, com relações de precedência entre elas e com recursos restritos que podem ser atribuídos às atividades.

Um *standard* de projeto é um conjunto de normas que representam as melhores práticas e princípios a utilizar na gestão de um projeto, visando aumentar as suas hipóteses de sucesso.

Algumas das normas (*standards*) mais comuns são:

1. *Project Management institute* - PMI's, *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK) *Standard*
2. *Office of Government Commerce* - OGC's PRINCE2 (*PRojects IN Controlled Environments*) *Standard*
3. *Association for Project Management* - APM's "Body of Knowledge" *Standard*
4. PMI's *Organizational Project Management Maturity Model* (OPM3) *Standard*
5. PMI's *Project Manager Competency Development Framework* (PMCDF) *Standard*

O conjunto de fases do projeto é denominado “ciclo de vida do projeto” ou PLC (*Project Live Cycle*). Geralmente, um PLC segue as seguintes etapas:

1. Conceção;
2. Definição;
3. Planeamento;
4. Execução;
5. Término.

A gestão de projetos inclui portanto, complexos problemas de decisão, especialmente no que diz respeito ao planeamento e sequenciamento de atividades e utilização de recursos, de forma a obter a “solução ótima”, cumprindo as datas de entrega e os valores orçamentados. Alguns dos meios de apoio à gestão de projetos são:

- Algoritmos de afetação de recursos e de sequenciamento de atividades;
- Diagramas de representação tais como diagramas de Gantt e Redes PERT/CPM;
- Diagramas de perfil de recursos;
- Método CPM;
- Método PERT.

Os métodos CPM (Critical Path Method) e PERT (Program Evaluation and Review Technique) são, entre os métodos de planeamento e controlo de projetos, os que com maior sucesso têm sido aplicados. O método CPM teve origem em 1957 e foi desenvolvido pelos matemáticos Morgan Walker e James Kelley, que na altura trabalhavam na investigação de aplicações para o computador mais potente da época, o UNIVAC1, que pertencia à poderosa indústria química DuPont. Pela mesma altura, na Marinha dos EUA, foi desenvolvido também, um método para o planeamento e controlo do programa do submarino Polaris, a que foi dado o nome de PERT.

As primeiras publicações sobre estes métodos datam de 1959 (Kelley e Morgan, 1959; MacCrimmon e Ryavec, 1964; Clark, 1962).

As principais formas de representação de projetos são o diagrama de Gantt, redes com atividades nos arcos (Activity-on-Arc) (AoA) e redes com atividades nos nós (Activity-on-Node) (AoN).

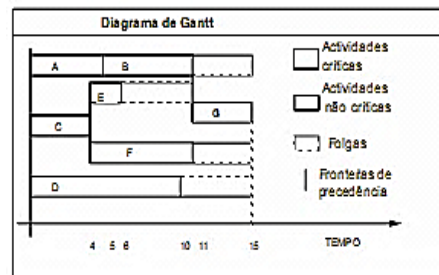


Figura 1 - Diagrama de Gantt (Carmo, 2006).

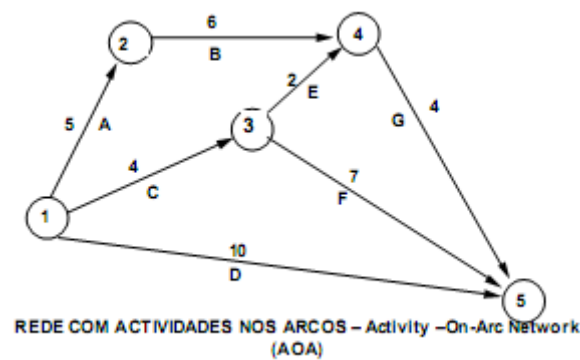


Figura 2 - Rede com atividades nos arcos (Carmo, 2006).

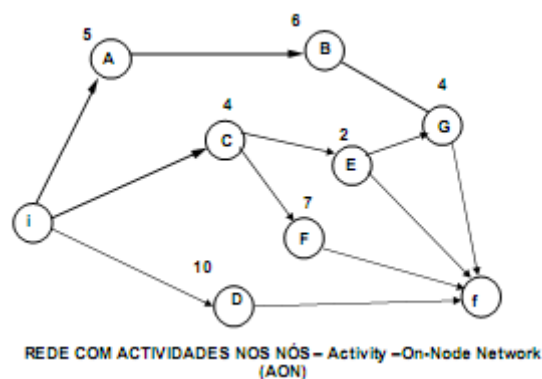


Figura 3 - Rede com atividades nos nós (Carmo, 2006).

No diagrama de Gantt cada barra representa a duração de uma atividade. Em geral é uma representação cartesiana da duração de tarefas em que o eixo das abcissas representa o tempo e o das ordenadas os recursos ou tarefas. As barras representam sempre a duração das tarefas. Tipicamente estas são representadas em função dos recursos. O diagrama de Gantt permite uma visualização intuitiva do progresso do trabalho quando se inclui informação sobre quais as atividades realizadas e as que faltam realizar, à data de análise, permitindo saber se há atrasos, adiantamentos ou se o plano se está a cumprir como previsto.

As redes AoA têm a vantagem, relativamente às redes AoN, de tornar mais óbvia a representação do progresso das atividades ao longo da execução do projeto. No entanto, as redes AoN são mais simples por evitarem a necessidade de usar atividades fictícias, além de permitirem a representação direta de relações de dependência entre atividades.

A gestão de projetos principiou com fundamentos precisos e concretos, aplicados a problemas bem definidos. Numa primeira fase, as soluções para os problemas de gestão de projetos eram obtidas através de técnicas como: PERT, algoritmos de alocação recursos, simulação de Monte-Carlo, análise do caminho crítico, entre outros. Desde então, foram surgindo modelos matemáticos e procedimentos cada vez mais complexos para obtenção de soluções também mais complexas.

A gestão de projetos é mais fácil se só existirem as relações de precedência entre as atividades. Nestes casos as técnicas de PERT e CPM que necessitam de tempos polinomiais de execução, fornecem planos de escalonamento das atividades, cumprindo o objetivo de completar o projeto na mínima duração possível, respeitando as restrições de precedências.

A estrutura do CPM assenta na teoria dos grafos. Os projetos são representados através de um grafo (ou rede) e a análise deste grafo permite programar o projeto com maior facilidade.

Um grafo é composto basicamente de dois elementos: nó e arco. O projeto pode ser representado na forma AoA ou AoN. Através do CPM podemos determinar:

1. As folgas de cada atividade:
 - a. Folga total: o tempo que uma atividade se pode atrasar sem afetar o término do projeto;
 - b. Folga livre: o tempo que uma atividade se pode atrasar sem afetar a folga de outras atividades;
 - c. Folga dependente: o tempo que uma atividade se pode atrasar sem atrasar o término do projeto, tendo como referência as antecessoras que terminaram na última data possível;

- d. Folga independente: o tempo que uma atividade se pode atrasar sem afetar a folga de outras atividades, tendo como referência as antecessoras que terminaram na última data possível.
- 2. As atividades críticas: são atividades em que qualquer tipo de folga implica atraso do projeto. Estas atividades estão sempre sob um esforço de supervisão maior porque a sua duração afeta diretamente a duração do projeto.

A técnica PERT incorpora incerteza na duração das atividades, usando estimativas das médias X e variâncias S^2 de uma distribuição estatística Beta. Estes dois parâmetros definidores da distribuição são obtidos a partir de três estimativas das durações de cada atividade, ditas pessimista (B) mais provável (M) e otimista (A).

No CPM o caminho crítico é composto pelas atividades cujas folgas são nulas, no PERT o supostamente “caminho crítico” é dado por aquele que tem a média mais longa, embora possa não o ser por razões relacionadas com a variância da duração dos caminhos existentes. Uma vez que a duração das atividades de um projecto, no método PERT, segue uma distribuição estatística, também a duração do projeto seguirá uma distribuição estatística.

Porém as atividades para serem concluídas necessitam de recursos. Os problemas de escalonamento tornam-se mais difíceis quando os recursos necessários estão disponíveis em quantidades limitadas, pois o problema de alocar recursos a atividades concorrentes deve considerar a otimização de um objetivo específico, atendendo às restrições existentes. O RCPSP é um problema desafiante, tornando a procura de contribuições para a sua resolução aliciante para qualquer investigador. O RCPSP não representa uma área isolada de investigação, pelo contrário, agrega uma vasta área de “subproblemas” de escalonamento.

A figura 4 apresenta o modelo formulado por Demeulemeester e Herroelen (1996), para o RCPSC clássico. Obedece aos pressupostos seguintes:

- Um projeto é constituído por diferentes atividades, representadas no formato AoN, um grafo direcionado e acíclico, no qual os nós representam as atividades e os arcos representam as restrições de precedência. Duas atividades fictícias são utilizadas: a atividade 1 representa a atividade de início do projeto e é a predecessora direta ou indireta de todas as atividades do projeto, enquanto a atividade N denota a atividade de final do projeto e é uma sucessora direta ou indireta de todas as atividades.
- As atividades estão relacionadas por um conjunto de relações de precedência, com um atraso de tempo zero, isto é, nenhuma atividade pode iniciar antes das suas precedentes terem terminado.

- Nenhuma data de início ou de fim é imposta a qualquer atividade do projeto.
- Cada atividade $i \in \{1, \dots, N\}$ tem uma duração constante d_i (tempos de preparação são desprezáveis ou estão incluídos na duração).
- Cada atividade i requer um número constante de unidades r_{ik} , de um recurso renovável do tipo k ($k = 1, \dots, K$). As necessidades de recursos são constantes conhecidas, sobre o intervalo de processamento da atividade.
- A disponibilidade a_k de um recurso renovável do tipo k é também uma constante conhecida ao longo do intervalo de duração do projeto.
- Nenhuma atividade pode ser interrompida depois de iniciada (não é permitido preempção de atividades).
- O objetivo é completar o projeto o mais cedo possível, sem violar qualquer restrição de recurso e de precedência.

Minimizar f_N

Sujeito a:

$$f_i \leq f_j - d_j \quad \forall (i, j) \in H,$$

$$f_1 = 0,$$

$$\sum r_{ik} \leq a_k \quad \forall k = 1, \dots, K; 1, \dots, f_n,$$

$$i \in S_t$$

Onde:

a_k : a disponibilidade total do recurso tipo k ;

d_i : duração da actividade i ;

f_i : data de término da actividade i ;

N : número de actividades do projecto;

H : conjunto de pares de actividades indicando relações de precedência fim – início;

K : número de tipos de recursos;

r_{ik} : a quantidade de recursos do tipo k que é requerida pela actividade i ;

S_t : Conjunto de actividades em progresso durante o intervalo de tempo

$$[t - 1, t] = \{i \mid f_i - d_i < t \leq f_i\}$$

Figura 4 - Formulação do modelo RCPSP (Demeulemeester e Herroelen, 1996).

O Problema de Escalonamento de Projetos com Restrição de Recursos pode ter variadas características distintas, desde ser multiprojetos ou projeto único, ter atividades preemptivas ou não preemptivas, diferentes modos de execução de atividades, recursos renováveis ou não renováveis, mais que um objetivo e diferentes tipos e número de projetos simultâneos.

Quando os dados sobre as atividades e os recursos envolvidos são determinados com precisão, diz-se que o problema é de natureza determinística; do contrário, podemos ter problemas de natureza estocástica. O método PERT calcula o caminho crítico baseado nas médias das atividades e assume que as atividades nesse caminho devem ser as mais vigiadas. Pode ocorrer que atividades com grande probabilidade de estarem no caminho crítico, não façam parte do caminho definido pelas médias. No caso das redes estocásticas, o que está em causa não é o caminho crítico mas sim o índice de criticalidade (CI - "Criticality Index"). Este índice está associado a todos os caminhos da rede e indica a probabilidade desse caminho ser crítico, pode também ser associado às atividades, indicando a probabilidade dessa atividade pertencer a um caminho crítico.

O RCPSP é um problema difícil de resolver para situações reais e torna-se ainda mais difícil quando são aplicadas generalizações (por exemplo: multiobjectivo, multimodo, multiprojetos, ambiente estocástico, diferentes tipos de recurso, etc.). No entanto, estas generalizações representam mais fielmente as situações reais a resolver.

As abordagens de mais sucesso, que permitem uma utilização do modelo na prática, são as abordagens heurísticas; estas lidam melhor com modelos flexíveis e com problemas de maior dimensão.

2.2. Objetivos de um RCPSP

Relativamente aos objetivos de um RCPSP, podemos considerar objetivos baseados no tempo. Entre os principais fatores deste tipo temos:

Seja T_n a data prevista de entrega do projeto j e C_j o instante de conclusão do projeto j :

Makespan (C_{max}) é equivalente ao tempo total, após a última tarefa ter sido executada. Um *makespan* mínimo, geralmente implica uma elevada utilização dos recursos.

Lateness (L_j) corresponde à transgressão relacionada com as datas de término dos projetos. O atraso é definido como $L_j = C_j - T_n$, que é positivo quando o projeto é concluído com atraso e negativo quando é concluído mais cedo. É desejável minimizar o atraso.

Tardiness (T_j) define o atraso do projeto como $T_j = \max(C_j - T_n, 0) = \max(L_j, 0)$. Ou seja corresponde ao *Lateness* no caso de este ser positivo ou a zero caso contrário.

Earliness (E_j) é o inverso de *tardiness*, isto é, $E_j = \max(0, d_j - C_j)$.

A diferença entre o *lateness* e o *tardiness* está no facto de o *tardiness* nunca ser negativo.

Geralmente os objetivos apoiados no tempo são: minimizar o *makespan*, isto é a duração do projeto, minimizar os fatores *lateness*, *tardiness*, entre outros.

No entanto o sucesso no que ao tempo diz respeito, não implica sucesso em termos económicos. Geralmente os objetivos baseados em tempo entram em conflito com os objetivos baseados em custo.

Para objetivos baseados em custo temos a maximização do NPV (*Net Present Value*) ou em português VAL (Valor Atual Líquido), minimizar o custo total incluindo custo de consumo de recursos e coimas por atrasos.

Uma situação frequente encontrada na prática é a necessidade de completar um projeto na sua data estabelecida e maximizar o lucro. Ozdmar e Ulusoy (1995) referem no seu levantamento da literatura trabalhos de Talbot *et al.* (1989,1990) em que o NPV é maximizado enquanto a data estabelecida existe com uma restrição forte.

Encontram-se outros estudos multiobjectivo na literatura, onde soluções eficientes com respeito ao objetivo tempo e custo são geradas. O trabalho de Pandelis e Ipsilandis (2007), por exemplo, apresenta um modelo de programação linear multiobjectivo para escalonamento de projetos lineares repetitivos.

Guldemon *et al.* (2008) apresentaram um estudo singular, associado ao problema de escalonamento de projetos com prazos rígidos nos trabalhos, a que chamaram *Time-Constrained Project Scheduling Problem* (TCPSP). Muitos projetos têm prazos que não podem falhar e acabam por ter de recorrer a horas extraordinárias e à utilização de mais recursos. Neste trabalho tentam responder a *quanto*, *quando* e *que tipo* de capacidade extra deve ser usada para cumprir os prazos com custos mínimos. Usaram uma função objetivo não regular. Para testar as qualidades dos resultados obtidos, usaram instâncias de RCPSP, por não existirem instâncias de TCPSP. É relatado que para um grande número de instâncias foram

obtidas soluções ótimas e além disso o método usado mostrou-se flexível, por parametrização e por ser possível escolher onde investir o esforço computacional, parecendo ser um método bastante aplicável a casos reais.

2.2.1 Objetivo NPV

Vários investigadores concordam que um projeto não pode ser isolado dos custos nem executado sem escalonamento de atividades. Sepil e Ortac (1997) permitem um fluxo monetário específico, Padman e Dayanand (1997) permitem ao agente decisor assinalar pontos de progresso de pagamentos e Etgar *et al.* (1997) incorporam estruturas de bónus e coimas. Como os custos dependem do progresso das atividades ativas escalonadas, e como o escalonamento está relacionado com outras restrições que não monetárias, os investigadores incluíram a consideração de fluxos monetários explicitamente nas restrições dos recursos, nas suas formulações.

Elmaghraby e Herroelen (1990) determinaram a seguinte propriedade de uma solução ótima que maximize o NPV: as atividades com fluxos monetários positivos devem ser escalonadas o mais cedo possível e as que têm fluxo monetário negativo, o mais tarde possível. Concluíram que a execução mais rápida do projeto não é necessariamente a solução ótima no que diz respeito à maximização do NPV.

No trabalho de Mika *et al.* (2005), é associado um fluxo positivo a cada atividade. São considerados 4 modelos alternativos de pagamento: um pagamento único no final do projeto, pagamentos efetuados quando as atividades terminam, pagamentos a intervalos de tempo regulares e pagamentos dependentes do progresso. O objetivo é maximizar o NPV de todos os fluxos monetários do projeto. Recorreram a duas meta-heurísticas muito utilizadas em trabalhos de investigação: *Simulated Annealing* (SA) e *Tabu Search* (TS). Concluíram que de um modo geral o algoritmo TS resulta melhor em projetos com um número pequeno de atividades, enquanto o algoritmo SA aumenta a sua eficiência com o aumento do número de atividades. Com um número fixo de atividades o TS tem vantagem sobre o SA com o crescimento da taxa de juro. Para pagamentos em intervalos regulares, o TS é mais vantajoso se o intervalo for curto, senão o SA comporta-se melhor.

Ulusoy e Cebelli (2000) apresentaram uma nova abordagem ao problema de escalonamento de pagamentos. O montante pago pelo cliente e recebido pelo contratado é determinado de modo a alcançar uma solução equilibrada. Uma solução equilibrada é aquela em que o cliente e o contratado se distanciam da sua solução ideal em percentagens equivalentes. O algoritmo proposto é um Algoritmo Genético (GA) *duplo-ciclo*; o ciclo exterior representa o cliente e o

interior o contratado. O ciclo interior corresponde a um RCPSP Multimodo, com o objetivo de minimizar o NPV do contratado, dada uma determinada distribuição de pagamentos. A informação vai fluindo entre os dois ciclos tendo em conta a distribuição de pagamentos sobre os nodos (eventos) e o respetivo *timing*. Os autores reportaram que o procedimento alcançou soluções equilibradas em tempos de computação razoáveis. Também sugerem possível a extensão do procedimento a problemas de minimização de recursos, bastando para tal redefinir os modos.

Tereso *et al.* (2004a, 2005) apresentam trabalhos inseridos na classe de minimizar custos. Em Tereso *et al.* (2004a) foi implementado um modelo de programação dinâmica, para problemas de redes de atividades multimodais de conteúdo de trabalho estocástico, utilizando o MATLAB. Em Tereso *et al.* (2005) foi implementado um modelo de programação dinâmica, numa plataforma distribuída, para problemas de redes de atividades multimodais de conteúdo de trabalho estocástico, utilizando a linguagem de programação JAVA, que aplica o paradigma da Programação Orientada a Objetos (POO), obtendo melhores resultados em termos de desempenho.

2.2.2 Projetos Multiobjetivo

Já foi referido atrás um trabalho multiobjetivo de Pandelis e Ipsilandis (2007), para escalonamento de projetos lineares repetitivos. No seu modelo tomam em consideração elementos de custo, relacionados com a duração do projeto, o tempo inativo dos recursos e a data de entrega de unidades do projeto. O modelo pode gerar escalonamentos alternativos baseados em graus de importância atribuídos aos diferentes elementos de custo, permitindo assim ao gestor considerar e obter soluções alternativas, além das que minimizam a duração do projeto ou que maximizam o trabalho contínuo de recursos.

Encontram-se na literatura trabalhos multiobjetivo associados a ambientes dinâmicos. Ozdamar e Ulusoy (1995) mencionam na sua revisão, o trabalho de Norbis e Smith (1988) em ambiente dinâmico, onde foi adotada uma abordagem multiobjetivo para o problema de escalonamento com recursos limitados, em que o tempo de conclusão, prazos e utilização de recursos são avaliados hierarquicamente. Desenvolveram uma heurística onde, em cada estágio de decisão, as atividades obtêm prioridade de acordo com o critério correspondente, constituindo-se assim diferentes conjuntos de prioridades. Deste modo obtém-se uma ordenação hierárquica de objetivos.

Dean *et al.* (1992) também estudaram heurísticas para o problema multiobjetivo (em ambiente determinístico), mas no contexto de escalonamento de recursos em ambiente multiprojecto. No

seu modelo consideram a possibilidade de dividir atividades e diferentes durações de acordo com a taxa de utilização de recurso associada às atividades, permitindo que um recurso seja usado por múltiplas atividades no mesmo dia. Na heurística proposta é dada prioridade a atividades de acordo com a sua importância estratégica e económica e deste modo são usadas as taxas de utilização de recursos mais vantajosas.

Muitas das abordagens encontradas na literatura dão possibilidade ao agente decisor de especificar o grau de importância de cada objetivo (se existir mais que um) ou definir critérios com mais prioridade que outros. No trabalho de Dean *et al.* (1992) o agente decisor tem a possibilidade de expressar as suas preferências. O seu trabalho focou a vertente comercial e a utilização prática do modelo desenvolvido, ao desenvolver um pacote de *software* comercial no seu estudo.

2.3. As restrições

As restrições são importantes e descrevem situações reais. São classificadas segundo as categorias:

- Renováveis: restrição numa base periódica.
- Não renováveis: restrição para a totalidade do projeto, por exemplo o orçamento limitado de um projeto.
- Duplamente restritas: simultaneamente restritas na base periódica e na totalidade do projeto. Por exemplo o dinheiro limitado numa base diária e ao mesmo tempo como o orçamento total disponível para o projeto.

As restrições complicam a representação de problemas e quanto mais fielmente descrevem o problema real, mais difíceis se tornam de tratar.

Geralmente os recursos compõem grande parte das restrições. Como exemplo de recurso renovável, podemos considerar as máquinas, pois de período em período são reutilizadas. As matérias-primas são recursos não renováveis, pois estas são consumidas/utilizadas uma única vez. A maneira como os recursos são consumidos, é também um fator distinto. A função representativa do consumo dos recursos pode ser dividida em contínua ou discreta. Em Ozdamar e Ulusoy (1995) é referido o seguinte exemplo prático para uma função contínua tempo/recurso: a alocação de energia elétrica em máquinas onde a rotação do motor depende diretamente da quantidade de recurso. Pode ser considerado um recurso duplamente restrito,

já que a sua disponibilidade instantânea assim com a sua disponibilidade no total do projeto é limitada.

Uma função discreta tempo-recurso implica a representação de uma atividade em diferentes modos de operação. Cada modo de operação de atividades tem a sua própria duração e quantidades de recursos renováveis e não renováveis de que necessita. No processo de escalonamento é escolhido o modo de operação das atividades. Esta representação aumenta a complexidade do problema porque há mais decisões a tomar para cada atividade do projeto: o seu tempo de início e o modo específico em que será processada.

Boctor (1993) apresentou um procedimento heurístico para resolver problemas de escalonamento não preemptivos de recursos limitados mas renováveis de período em período, onde cada atividade tem um conjunto de durações e necessidade de recursos possíveis. O objetivo é minimizar a duração total do projeto. Foi sugerida uma *framework* genérica para resolver problemas de larga escala. As regras heurísticas que podem ser usadas na *framework* são avaliadas e é apresentada uma estratégia para resolver estes problemas eficientemente.

Heilmann (2000) também trabalhou com o caso multimodo com o objetivo de minimizar a duração do projeto. No trabalho dele, além dos diferentes modos de execução de cada atividade, é especificado o valor máximo e mínimo de atraso entre atividades. Apresentou uma heurística de regras de prioridades multi-passo.

2.4. Heurísticas

A necessidade de resolver problemas reais motivou os investigadores a desenvolverem heurísticas, pois o problema RCPSP pertence à classe de problemas tipo NP-Completo. As heurísticas são necessárias para a resolução de problemas reais em tempo razoável.

As heurísticas que têm vindo a ser usadas pertencem a uma das duas classes: a classe dos métodos baseados em regras de prioridade ou a classe das abordagens baseadas em meta-heurísticas.

Vários estudos que comparam diferentes regras de prioridade foram desenvolvidos por Davis e Patterson (1975), Alvarez-Valdés e Tamarit (1989), Boctor (1990), Valls *et al.* (1992) e Kolisch (1995, 1996).

No estudo computacional de Klein (2000) um total de 73 regras de prioridade foram avaliadas. Estas regras de prioridade podem ser classificadas em cinco grandes categorias. As cinco categorias propostas por Klein (2000) são:

- Regras de prioridade baseadas nas atividades: consideram apenas a informação que está relacionada com a própria atividade, ignorando qualquer outro tipo de informação.
- Regras de prioridade baseadas na rede do projeto: consideram apenas a informação que está contida na rede, ou seja, dependências entre atividades.
- Regras de prioridade baseadas no caminho crítico: consideram a informação obtida no cálculo do caminho crítico.
- Regras de prioridade baseadas nos recursos: consideram apenas a informação relativa à utilização dos recursos pelas atividades.
- Regras de prioridade compostas: podem ser obtidas como uma soma pesada dos valores das prioridades obtidas pelas regras descritas anteriormente.

Os métodos baseados em regras de prioridade vão construindo um plano, selecionando sucessivamente atividades de um conjunto de atividades disponíveis, até que todas as atividades estejam sequenciadas (Boctor, 1993; Dean *et al.*, 1992; Heilmann, 2000). Estes métodos são controlados tanto pelos esquemas sequenciais como pelas regras de prioridade. As regras de prioridade são utilizadas para estabelecerem a ordem pela qual as atividades são selecionadas e sequenciadas.

Os métodos baseados em meta-heurísticas começam com uma solução inicial e tentam melhorá-la. A melhoria de uma solução é obtida transformando uma ou várias soluções noutras.

Há ainda dois tipos de heurísticas, heurísticas em série onde a prioridade das atividades é predeterminada e mantém-se fixa, e heurísticas paralelas onde a prioridade é atualizada de cada vez que uma atividade é escalonada. Apesar das regras serem consideradas boas, o desempenho está diretamente ligado às características do problema em causa.

Uma estratégia foi apresentada por Boctor (1993), que propôs resolver o problema, de cada vez, com uma regra heurística diferente e ficar com a melhor solução obtida. Também forneceu probabilidades de obter resultados ótimos com combinação de regras específicas.

Outro tipo de heurísticas encontradas na literatura são as híbridas que resultam da combinação duas ou mais heurísticas, tais como TS e SA, já referidas anteriormente (Mika *et al.*, 2005) e os AGs.

Gonçalves *et al.* (2004) apresentaram um GA para o problema RCPSP. Usaram uma representação cromossômica baseada em chaves aleatórias. O sequenciamento das

atividades é feito com recurso a uma heurística baseada em prioridades definidas pelo GA. A heurística gera sequenciamentos ativos parametrizados.

Tseng (2008) também se debruçou sobre a utilização de GA mas para problemas MMRCMPSP, isto é, problemas RCPSP multiprojeto e multimodo. Apresentou duas heurísticas. A primeira é um Algoritmo de Escalonamento Paralelo (PSA - Parallel Scheduling Algorithm), a segunda é um Algoritmo Genético (GA). Sendo o primeiro usado para validar a eficiência do segundo.

Segundo a literatura técnica, os GA são interessantes para um determinado problema (computacionalmente considerado de difícil solução). Normalmente, neste tipo de problemas o espaço a ser pesquisado é grande, o espaço a ser pesquisado não é liso, ou seja, é formado por picos e vales correspondendo a muitos ótimos locais. Os GA também podem ser utilizados, quando não é exigido a obtenção da solução ótima, e seja suficiente a apresentação de soluções de boa qualidade. A figura 5 mostra o pseudo-código da estrutura básica de um GA. As suas vantagens são:

- A independência do domínio, a não linearidade, a robustez, a facilidade de modificação e a sua natureza paralela;
- Não Linearidade: enquanto as técnicas de otimização convencionais se baseiam em pressupostos irrealistas de linearidade, convexidade e diferenciabilidade, entre outros, os algoritmos genéticos não utilizam nenhum desses pressupostos;
- Robustez: como consequência da independência de domínio e da não linearidade, os algoritmos genéticos podem resolver uma diversidade de tipos de problemas, bem como podem trabalhar com funções não-lineares;
- Facilidade de Modificação: as modificações de um GA para modelar variações do problema original são muito fáceis de ser implementadas, ao contrário do que acontece em muitos outros métodos;
- Natureza Paralela: um GA possui natureza tal que facilita a efetivação de implementações com processamento paralelo. Por exemplo, assumindo a substituição em bloco, a aptidão de cada cromossoma poderia ser calculada em paralelo, reduzindo o tempo de processamento de cada geração.

Algoritmo Genético

```
Gerar população inicial {de n indivíduos}
Avaliar a aptidão de cada indivíduo
Enquanto a condição de paragem não for verdadeira
{
    Repetir até que a nova população esteja completa
    {
        Selecionar dois progenitores da geração
        Cruzar para gerar dois descendentes
        Mutar os dois descendentes
        Avaliar aptidão dos dois descendentes
        Colocar os descendentes na nova população
    }
    Geração atual = Nova população
}
```

Figura 5 - Pseudo-código da estrutura básica de um Algoritmo Genético.

Um outro paradigma recente é o *Electromagnetism-like Mechanism* (EM). Tereso *et al.* (2004b) apresentam uma implementação do EM para projetos estocásticos multimodais, que já haviam sido estudados em Tereso *et al.* (2004a), onde o modelo aplicado correspondia à programação dinâmica, com o objetivo de minimização de custos, reportando a obtenção de resultados melhores que os obtidos em Tereso *et al.* (2004a). No entanto referem ainda a necessidade e possibilidade de melhorar a performance do EM, aplicado ao problema, por várias vias.

2.5. Soluções ótimas do RCPSP

Existem três tipos de procedimentos exatos: *B&B*, programação inteira e programação dinâmica.

A programação inteira aplica-se a ambientes de projeto único e a multiprojetos. É o esqueleto de várias representações de problemas (os problemas de tipo multiprojetos, com recursos renováveis são analisados indiretamente porque os procedimentos para projeto único são geralmente aplicáveis a problemas de multiprojetos).

A abundância de variáveis binárias e o grande número de restrições levou os investigadores a desenvolver procedimentos *B&B* para o problema. O sucesso desta técnica depende da técnica de *branching* e da robustez do seu limite inferior.

Kis (2005) aborda o problema de escalonamento de projetos em que a necessidade de recurso de cada atividade varia proporcionalmente à variação de intensidade da própria atividade. Para formalizar o problema, usa-se uma combinação de programação inteira linear e é proposto um algoritmo *B&B* para encontrar soluções ótimas.

No entanto os procedimentos de *B&B* revelam-se insuficientes para problemas de tamanho real, apesar de eficientes. Apesar dos esforços na área de programação inteira, a experiência computacional aplica-se apenas a problemas pequenos de poucas atividades e poucos tipos de recursos.

A programação dinâmica é um método desenvolvido para ser aplicado a processos de decisão multi-estágio. Bellman e Dreyfus (1959) estudaram a aplicabilidade da programação dinâmica a um grande conjunto de problemas de otimização de várias áreas e concluíram que permitia resolver um grande número de problemas, sendo que alguns deles não podiam ser resolvidos por nenhum outro método conhecido.

3. Problema do Escalonamento em Projetos Multinível

Observa-se pelos trabalhos aqui já referidos e outros encontrados na literatura, que os modelos recentes incluem a maioria dos requisitos descritos por Willis (1985), para modelação realista de recursos. Estes requisitos incluíam necessidade variável de recursos de acordo com a duração de atividade, disponibilidade variável de recursos ao longo da duração do projeto e diferentes modos de operação para as atividades. O problema aqui apresentado segue também estes requisitos.

Dada uma rede de atividades nos arcos, que representa um projeto, é desejável definir um escalonamento para as atividades que permita minimizar o custo total do projeto (recursos + atraso). Se cada atividade necessitar da utilização de vários recursos e se cada recurso puder ser usado a diferentes níveis, o nível selecionado vai influenciar a duração da atividade. Este tipo de problema é uma generalização do problema de escalonamento de atividades com recursos limitados (RCPSp).

O problema de escalonamento de projetos apresentado como tema desta dissertação, foi sugerido pelo professor Salah E. Elmaghraby¹ e pela professora Anabela Tereso². O problema é sucintamente descrito a seguir.

3.1. Descrição do problema

Consideremos uma rede AoA: $G = (N, A)$, com $|N| = n$ (a representar os eventos de início e fim de atividades) e $|A| = m$ (a representar as atividades). Cada atividade pode necessitar da utilização de vários recursos e cada recurso pode ser usado a diferentes níveis.

¹ Salah E. Elmaghraby é PhD e Professor Jubilado da Universidade do Estado da Carolina do Norte nos Estados Unidos.

² Anabela P. Tereso é doutorada em Engenharia de Produção e Sistemas e professora da Universidade do Minho em Portugal.

Seja $|R| = \rho$ recursos. Tipicamente um recurso tem por capacidade várias unidades (w trabalhadores ou máquinas), cada unidade representa um nível particular do recurso. Exemplo: um recurso que consiste em máquinas com diferentes capacidades de utilização; ou em eletricitistas que têm diferentes níveis de habilidade ou que trabalham em *part-time*, tempo inteiro ou com horas extra.

O número de níveis varia com o recurso. Normalmente uma atividade requer o uso simultâneo de mais que um recurso para a sua execução. O tempo de processamento da atividade é dado pelo máximo das durações que resultariam de uma determinada alocação. Cada atividade aloca exatamente uma unidade de cada recurso, no entanto cada recurso pode ser utilizado a diferentes níveis. Os diferentes níveis de um recurso $r \in R$ são representados por $L(r) = \{r_1, \dots, r_{L(r)}\}$; Se o recurso r é utilizado no nível l pela atividade j , então o tempo de processamento da atividade é: $p(j, l(j, r))$.

Para uma melhor visualização do problema, podemos sumariar as suas características numa matriz como se pode ver na tabela 1.

Vamos assumir que qualquer recurso terá 3 níveis: baixo (1), médio (2) e alto (3). As células na tabela representam o tempo de processamento $p(j, l(j, r))$ da atividade j quando usa o recurso r no nível $l(j, r)$. A tabela exhibe a informação sem o “p” por uma questão de espaço. Se a atividade não usa o recurso é usado o símbolo \emptyset (nulo). O símbolo a_r indica o número de unidades disponíveis do recurso r .

É desejável determinar a alocação ótima de recursos que respeitem o “no delay dictum”, que significa que a atividade deve começar assim que seja viável e que esteja a respeitar a sequência em que se insere.

Tabela 1 - Características do problema

$\downarrow \text{Act/Res} \rightarrow$	1 (a_1)	$ R = \rho$ (a_ρ)
1	(1, 1, 1) (1, 1, 2) (1, 1, 3)	...	(1, ρ , 1) (1, ρ , 2) (1, ρ , 3)
2	(2, 1, 1) (2, 1, 2) (2, 1, 3)	...	(2, ρ , 1) (2, ρ , 2) (2, ρ , 3)
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
$ A = m$	(m , 1, 1) (m , 1, 2) (m , 1, 3)	...	(m , ρ , 1) (m , ρ , 2) (m , ρ , 3)

O objetivo será obter a alocação de recursos que permita respeitar os prazos requeridos e/ou minimizar o custo total do projeto.

O tempo de processamento de uma atividade é obtido pelo máximo das durações que resultam de uma determinada alocação dos recursos necessários.

Consideremos um pequeno projeto de 3 atividades. Assume-se que o projeto necessita de utilizar 4 recursos diferentes.

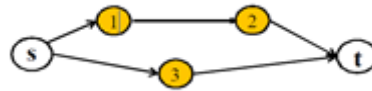


Figura 6 - Representação AoN de um projeto de 3 atividades.

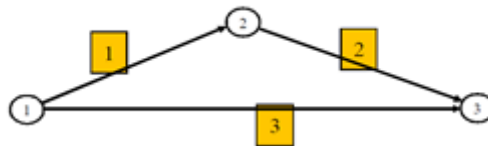


Figura 7 - Representação AoA de um projeto de 3 atividades.

Seja $\gamma_{l(r)}$ o custo unitário do recurso r no nível l . Então cada célula da tabela deve ter $2 \times |L(j,r)|$ valores, onde a primeira linha representa a duração $p(j,r,l(j,r))$ e a segunda o custo $c(j,r,l(j,r))$. O custo total de um recurso a cada nível é obtido pela multiplicação do custo unitário pela duração.

Tabela 2 - Tempos de Processamento e Custo dos Recursos.

↓Act	Recursos	→	1 (2)	2 (1)	3 (3)	4 (2)	η_j
	Custo Unit. Rec.		(1,3)	(2,5,10)	(1,3,5)	(2,4,6)	
1	$p(j,r,l(j,r))$	(14,6)	\emptyset	(12,8,5)	(18,12,7)	(36,48,42)	3
	$c(j,r,l(j,r))$						
2	$p(j,r,l(j,r))$	\emptyset	(7,5,3)	\emptyset	(8,5,4)	(16,20,24)	2
	$c(j,r,l(j,r))$						
3	$p(j,r,l(j,r))$	(20,12)	(22,16,10)	\emptyset	\emptyset	\emptyset	2
	$c(j,r,l(j,r))$						

η_j = Número de recursos necessários para a atividade j .

A tabela 2 mostra apenas os tempos de processamento e custo a cada nível dos recursos. A primeira linha indica que há 4 recursos com disponibilidade variável: os recursos 1 e 4 têm $a_1 = a_4 = 2$ unidades, o recurso 2 tem apenas uma unidade ($a_2 = 1$), e o recurso 3 tem $a_3 = 3$ unidades. A linha abaixo especifica o custo unitário a cada nível. Uma célula não nula

correspondente à atividade j indica que o recurso é necessário – cada atividade aloca apenas uma unidade de recurso. No entanto o recurso pode ser usado a qualquer um dos seus níveis. Por exemplo, o recurso 2 tem apenas 1 unidade disponível, que pode ser usada pela atividade 2 a qualquer um dos seus níveis: se usada no nível 1 (baixo) o tempo de processamento é 7 (i.e.; $p(2,2,1) = 7$), e o custo é 14 (i.e.; $c(2,2,1) = 14$); se usada no nível 2 (intermédio), então o tempo de processamento é 5 e o custo é de 25; finalmente se usada no nível 3 (alto), o tempo de processamento é 3 e o custo é 30; etc.

Suponhamos que os quatro recursos são alocados no seu nível 2 (intermédio). Seja p_j a duração da atividade j e c_j o custo total da atividade j , temos:

- atividade 1 consumirá $p_1 = \max\{6, 8, 12\} = 12$ unidades de tempo; $c_1 = 18 + 24 + 48 = 90$ unidades monetárias;
- atividade 2 consumirá $p_2 = \max\{5, 5\} = 5$ unidades de tempo; $c_2 = 25 + 20 = 45$ unidades monetárias;
- atividade 3 consumirá $p_3 = \max\{12, 16\} = 16$ unidades de tempo; $c_3 = 36 + 80 = 116$ unidades monetárias;

e o projeto levará $\max\{12 + 5, 16\} = 17$ unidades de tempo.

No entanto, devido a restrições de recursos, as atividades 2 e 3 não se podem executar ao mesmo tempo, pois o recurso 2 só tem uma unidade disponível e deve ser alocado às duas atividades. Então se alocado em primeiro lugar à atividade 2, a atividade 3 só terá início no instante 17, quando termina a execução da atividade 2, e o projeto demorará $12 + 5 + 16 = 33$ unidades de tempo; se alocado em primeiro lugar à atividade 3, as atividades 1 e 3 executarão em paralelo e a atividade 2 só poderá iniciar no instante em que termina a atividade 3 (instante 16), o projeto demorará $\max\{16 + 5, 16\} = 21$ unidades de tempo.

A melhor decisão é portanto alocar primeiro à atividade 3, assim o custo total de projeto será de 251 unidades monetárias e terminará no instante $T = 21$ (assumindo o instante de início do projeto $T = 0$). Também consideramos os custos de *tardiness* e bônus de *earliness* (custos negativos). Se a data de término esperada para o projeto é $T_s = 24$, o projeto terminará mais cedo. Se o bônus por terminar antes da data prevista é igual a 10, o custo total será $251 - 10 * 3 = 221$.

3.2. Modelo Matemático

Resumidamente, as restrições do problema são:

- Respeitar as precedências entre atividades.
- Uma unidade de recurso está alocada apenas a uma atividade a qualquer altura (pode estar livre em determinados intervalos), e a um nível.
- Respeitar a capacidade dos recursos: o total de unidades alocadas não pode exceder o total de unidades disponíveis para o recurso em questão.
- Uma atividade pode começar apenas quando é viável em termos sequenciais e todos os recursos necessários estão disponíveis - cada qual é usado a um dos seus níveis e deve manter-se no mesmo nível sem interrupção ou preempção.

O objetivo é encontrar a solução ótima que minimiza o custo total do projeto, cumprindo a data de entrega. Uma penalidade é aplicada no caso de ocorrerem atrasos relativamente à data de entrega e uma compensação é atribuída no caso do projeto se concluir mais cedo do que o previsto.

Seja:

$G(N, A)$: Rede do projeto na representação AoA, com um conjunto de N nós, a representar os eventos, e um conjunto de arcos A a representar as atividades.

n : número de nós; $n = |N|$.

m : número de arcos ou número de atividades; $m = |A|$.

a : atividade, que também pode ser representada pelo arco (i, j) .

R : conjunto de recursos.

r : recurso $r \in |R|$

C^k : o corte uniformemente direcionado k , na rede do projeto, que é atravessado no avanço do projeto (i.e. conjunto de atividades em execução); $k = 1, \dots, K$.

l : nível a que o recurso está alocado a uma atividade.

$x(a, r, l)$: uma variável binária, igual a 1 se o recurso r está alocado à atividade a no nível l , e 0 caso contrário.

$p(a, r, l)$: o tempo de processamento da atividade a quando o recurso r está alocado no nível de utilização l .

$p(a)$: tempo de processamento da atividade a (considerando todos os recursos).

$c(a, r, l)$: custo de utilização para a atividade a do recurso r alocado no nível l .

$c_r(a)$: custo total da atividade a (considerando todos os recursos).

η_a : o número de recursos necessários pela atividade a .

ρ : número de recursos, $\rho = |R|$.

b_r : capacidade do recurso r .

$\gamma(r, l)$: custo unitário do recurso r no nível l .

γ_E : ganho adicional pela conclusão antecipada do projeto.

γ_L : prejuízo adicional pela conclusão atrasada do projeto.

t_i : instante de concretização do nó i (representação AoA), onde o nó 1 é o “nó inicial” do projeto e o nó n é o seu “nó final”.

T_s : tempo proposto de conclusão do projeto.

c_E : custo de *earliness*.

c_T : custo de *tardiness*.

c_{ET} : custo *earliness-tardiness*.

c_R : custo total (dos recursos) para todas as atividades do projeto.

TC : custo total do projeto.

As restrições vêm enumeradas a seguir.

Começamos por definir o tempo de processamento de uma atividade $p(a)$ como o máximo dos tempos impostos pelos diferentes recursos. Estes tempos virão em função dos níveis a que os recursos estão alocados.

$$p(a) = \max_{\forall r} \{p(a, r, l)\}, \forall a \in A \quad (1)$$

Respeitar as precedências entre atividade: uma atividade não pode iniciar sem que as suas precedentes tenham terminado.

$$t_j - t_i \geq p(a), \forall a \in A \quad (2)$$

Respeitar a disponibilidade de recursos: o total de unidades alocadas de um recurso, a qualquer instante, não deve exceder a sua capacidade. Esta restrição é aplicável a todas as atividades presentemente ativas.

$$\sum_{a \in C^k} x(a, r, l) \leq b_r, \forall r \in R \quad (3)$$

Uma unidade de recurso é alocada a uma atividade a um nível apenas (a unidade do recurso pode estar inativa em determinado período de tempo).

$$\sum_{\forall l} x(a, r, l) = 1, \forall a, \forall r \in R \quad (4)$$

Uma atividade deve alocar todos os recursos necessários a um certo nível, quando pode iniciar, e deve manter o nível escolhido dos recursos sem interrupção ou preempção.

$$\eta_a - \sum_{r \in R} \sum_{\forall l} x(a, r, l) = 0, \forall a \in C^K \quad (5)$$

Não sabemos à priori qual a sequência das atividades que vão executar ao longo do projeto, pois isso depende da alocação de recursos. A alocação de recursos, por sua vez, está dependente da disponibilidade dos recursos a cada estágio do projeto, sendo esta

disponibilidade ditada pelas atividades que estiverem a executar no momento. Cria-se assim um ciclo vicioso, difícil de quebrar. Para o resolver seria necessário uma enumeração completa das possibilidades de estágios de execução o que tornaria o problema inexecutável. Poderíamos resolver esta situação de maneira formal ou heurística. A maneira formal seria do tipo programação inteira combinada com o modelo matemático apresentado, o que representaria um elevado peso computacional. As heurísticas são, por sua vez, mais leves em termos de computação. A heurística aplicada para o problema em questão vem descrita no próximo subcapítulo.

A função objetivo, é composta por duas partes: o custo dos recursos, e o ganho ou perda devido aos fatores de *earliness* ou *tardiness* obtidos pelo instante de conclusão do projeto (t_n), relativamente à data de entrega estabelecida.

Earliness e Tardiness:

$$e \geq T_s - t_n \quad (6)$$

$$d \geq t_n - T_s \quad (7)$$

$$e, d \geq 0 \quad (8)$$

Os custos são calculados da seguinte forma:

- a) O custo de utilização do recurso no nível selecionado, para cada atividade é:

$$c_R(a) = \sum_{r \in R} c(a, r, l) \quad (9)$$

$$c(a, r, l) = \gamma(r, l) * p(a, r, l) \quad (10)$$

- b) Os custos de earliness-tardiness são:

$$c_{ET} = c_E + c_T = \gamma_E \cdot e + \gamma_L \cdot d \quad (11)$$

- c) Custo total dos recursos para todas as atividades do projeto:

$$c_R = \sum_{a \in A} c_R(a) \quad (12)$$

- d) Custo total do projeto:

$$TC = C_R + C_{ET} \quad (13)$$

A função objetivo será simplesmente:

$$\min TC \quad (14)$$

3.3. Exemplo de uma rede de 3 atividades

Consideremos os dados da tabela seguinte para a rede de 3 atividades referida atrás.

Tabela 3 - Tempos de Processamento e Custo dos Recursos.

RECURSOS →	1			2			3			4			
Disponibilidade	2			1			3			2			
↓ Atividade / Níveis →	1	2		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Custos Unitários	2	4		3	5	7	1	4	5	1	3	5	η_j
A1 (Tempo proc.)	14	6					12	8	5	18	12	7	3
A1 (Custo)	28	24					12	32	25	18	36	35	
A2 (Tempo proc.)				7	5	3				8	5	4	2
A2 (Custo)				21	25	21				8	15	20	
A3 (Tempo proc.)	20	12		22	16	10							2
A3 (Custo)	40	48		66	80	70							

Assume-se os seguintes valores de earliness e tardiness: $\gamma_E = -10$, $\gamma_L = 20$, e data de entrega date $T_s = 24$.

A atividade A1 tem 18 combinações possíveis de níveis de recursos ($2 * 3 * 3$), obtidas pela multiplicação do número de níveis de cada recurso necessário pela atividade A1.

A atividade A3 tem 6 combinações de níveis de recursos ($2 * 3$).

O projeto inicia com as atividades A1 e A3 ativas, ou seja com 108 ($18 * 6$) cenários para buscar as soluções.

A atividade 2 apenas pode iniciar quando as atividades A1 e A3 tiverem terminado, por causa da relação de precedência com A1 e devido às restrições do recurso 2, usado pela atividade A3.

Quando a atividade 2 está pronta a iniciar irá gerar 9 combinações possíveis dos níveis dos recursos ($3 * 3$). Estas combinações vão-se juntar às 108 já existentes, obtendo-se finalmente 972 soluções válidas para o projeto ($108 * 9$).

Depois de enumeradas todas as possibilidades, podemos avaliar, para cada solução encontrada, o tempo de término do projeto e o seu custo total.

Para o projeto apresentado na tabela 3, a solução ótima obtida é:

Atividade 1:

$x(1, 1, 1)$	$x(1, 1, 2)$	$c(1, 1, 1)$	$p(1, 1, 2)$	$x(1, 3, 1)$	$x(1, 3, 2)$	$x(1, 3, 3)$	$c(1, 3, 3)$	$p(1, 3, 3)$	$x(1, 4, 1)$	$x(1, 4, 2)$	$x(1, 4, 3)$	$c(1, 4, 3)$	$p(1, 4, 3)$	$C_R(1)$	$p(1)$
0	1	24	6	1	0	0	12	12	0	0	1	35	7	71	12

Atividade 3:

$x(3, 1, 1)$	$x(3, 1, 2)$	$c(3, 1, 2)$	$p(3, 1, 1)$	$x(3, 2, 1)$	$x(3, 2, 2)$	$x(3, 2, 3)$	$c(3, 2, 3)$	$p(3, 2, 3)$	$C_R(3)$	$p(3)$
0	1	48	12	0	0	1	70	10,0	118	12

Atividade 2:

$x(2, 2, 1)$	$x(2, 2, 2)$	$x(2, 2, 3)$	$c(2, 2, 3)$	$p(2, 2, 3)$	$x(2, 4, 1)$	$x(2, 4, 2)$	$x(2, 4, 3)$	$c(2, 4, 2)$	$p(2, 4, 2)$	$C_R(2)$	$p(2)$
0	0	1	21	3	0	0	1	20	4	41	4

t_n	$T_s - t_n$	$e \geq T_s - t_n$	C_E	$t_n - T_s$	$d \geq t_n - T_s$	C_T	$C_E + C_T$	C_R	$TC = C_{ET} + C_R$
16	8	8	-80	-8	0	0	-80	230	150

Temos então que o tempo de conclusão do projeto é $t_n = 16$. Uma vez que a data de entrega definida foi 24, será aplicado um bônus. O custo do projeto sem bônus ou penalidade corresponde ao custo dos recursos $C_R = 230$. O custo total do projeto é $TC = 150$.

Os modos de execução das atividades são:

- A1 início: 0; R1 (nível 2; custo: 24; duração: 6); R3 (nível 1; custo: 12; duração: 12); R4 (nível 3; custo: 35; duração: 7).
- A3 início: 0; R1 (nível 2; custo: 48; duração: 12); R2 (nível 3; custo: 70; duração: 10).
- A2 início: 12; R2 (nível 3; custo: 21; duração: 3); R4 (nível 3; custo: 20; duração: 4).

4. Procedimento

O procedimento que desenvolvemos inicialmente, aplicado a um pequeno projeto, era baseado num algoritmo *Breadth First Search* (BFS). Todos os nós da árvore de procura (soluções parciais) eram avaliados a cada altura da árvore, antes de continuar a pesquisa, implementando assim uma procura exaustiva que visitava todos os nós da árvore. Esta estratégia é passível de ser aplicada a projetos pequenos mas torna-se inoportável para projetos maiores.

A técnica de procura *Branch and Bound* (B&B) permite reduzir o número de nós a serem explorados. Podemos vê-la como uma versão “polida” do BFS, uma vez que permite, através da aplicação de determinado critério, reduzir a complexidade do BFS. Consiste normalmente em ir guardando a melhor solução encontrada até ao momento, verificando a cada nó se a solução do próprio suplanta a melhor atualmente conhecida. Se o nó não oferece uma solução melhor, é descartado.

O método de procura FBS é um procedimento heurístico B&B, que aplica a travessia BFS para construir a árvore, mas onde apenas os “melhores nós” da árvore são mantidos. O número de nós a manter a cada nível da árvore é designado de “*beam width*”.

4.1. Branch and Bound

O processo B&B consiste basicamente em dois procedimentos:

Branching - geração de subproblemas;

Bounding - eliminação de subproblemas.

A geração de subproblemas (que constrói uma estrutura em árvore) é alcançada pelo *branching*. A eliminação de subproblemas (nós da árvore) é realizada pelo *bounding*. Basicamente são definidos limites, superior e inferior, que são depois comparados ao “valor” de cada nó, descartando-se o nó, se assim for conveniente.

4.1.1 Branching

Branching consiste em dividir um problema em problemas menores.

Dado um problema P , ele divide-se em m subproblemas

$$P_1, P_2, \dots, P_m \text{ tal que } P_1 \cup P_2, \dots, \cup P_m = P$$

Um modo de gerar estes subproblemas é através da fixação de variáveis discretas.

Considere uma variável v de um problema P

$$v = 1, \dots, V$$

Temos então que P pode ser dividido em:

$$P_1, P_2, \dots, P_V$$

Sendo que em P_i temos a variável v fixada para o seu i -ésimo valor possível.

A fixação recursiva de variáveis cria uma árvore onde os nós internos representam as soluções possíveis de obter, respeitando as fixações já feitas, e as folhas representam as soluções completas.

As figuras abaixo apresentam a geração da árvore de um problema com 3 variáveis binárias x_1, x_2, x_3 .

Primeiro é feito o *branch* na variável x_1 , criam-se assim os subproblemas P_1 e P_2 . A figura 8 corresponde ao *branch* na variável x_2 , onde são gerados os subproblemas $P_{11}, P_{12}, P_{21}, P_{22}$. A figura 9 corresponde ao *branch* na variável x_3 , que permite obter as soluções completas.

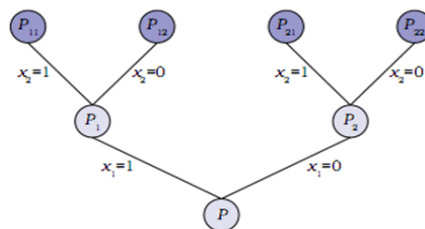


Figura 8 - Árvore obtida fazendo *branch* na variável x_2 .

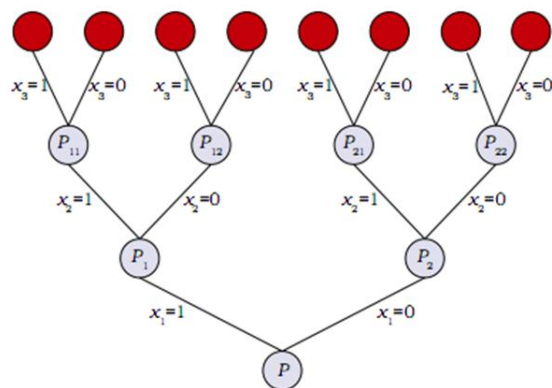


Figura 9 - Árvore completa de *branching*.

Se apenas for usado o *branch* temos um algoritmo exato que nos fornece a solução ótima. No entanto este algoritmo torna-se muito ineficiente quando o número de variáveis aumenta, para n variáveis binárias temos 2^n nós a serem explorados.

4.1.2 Bounding

Como referido atrás, o *branching* fornece-nos um algoritmo exato mas ineficiente, o *bounding* é o procedimento que permite melhorar a eficiência do B&B. Consiste em efetuar a “poda” de alguns dos ramos da árvore, gerada pelo *branching*, através do uso de limites.

O *bounding* é realizado através da aplicação de limites inferiores e superiores (para problemas de maximização ou o minimização respetivamente). Um nó pode também ser descartado por motivos de inviabilidade, isto é, as decisões já tomadas conduzem a algum incumprimento de restrições a obedecer.

No *bounding*, para cada nó percorrido, é calculado o seu “valor” e são aplicados os limites, sendo o nó (e todos os seus filhos) descartado se o seu “valor” não respeitar os limites estabelecidos.

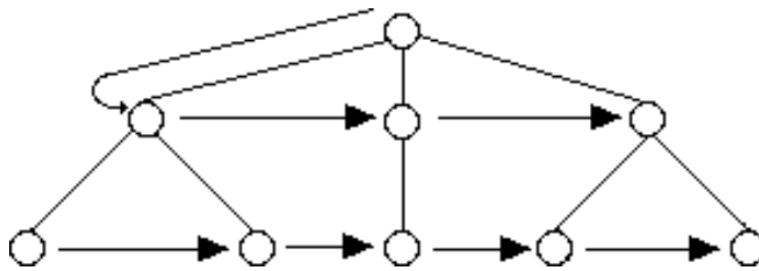
A função de *bounding*, que permite estabelecer os limites, pode ser “forte”, isto é, mais rápida a encontrar a solução, mas difícil de calcular, ou “fraca”, isto é, fácil de calcular, mas mais lenta a encontrar a solução. A abordagem B&B é sempre mais eficiente se os limites usados forem muito estreitos.

No contexto do problema aqui estudado, o objetivo é minimizar o custo total do projeto, que acrescenta um bónus ou penalidade conforme respeite ou não a data de entrega estabelecida. Assim uma função de *bounding* forte estaria forçosamente dependente dos três parâmetros citados: custo do bónus, custo da penalidade e data de entrega.

É comum que a função de *bounding* se traduza numa heurística que permite encontrar e estabelecer os limites a usar. A missão da função de *bounding* é simplesmente reduzir o espaço de procura da solução, não descartando ramificações potencialmente desejáveis de manter.

4.2. Filtered Beam Search

Tal com mencionado antes, *Beam Search* (BS) é um procedimento heurístico B&B que aplica a travessia BFS, mas onde apenas os “melhores nós” da árvore são mantidos.



A cada estágio da árvore são gerados os sucessores diretos dos nós presentes no estágio atual, mas apenas os melhores são mantidos, isto é, um número estabelecido de nós é mantido a cada estágio, os outros são descartados. Este número de nós a manter é designado “*beam width*”.

Basnet *et al.* (2001) apresentaram uma abordagem *Filtered Beam Search* (FBS) para gerar escalonamentos que minimizam o *makespan*, em projetos multimodo de escalonamento de recurso único, onde existia um recurso único renovável a considerar e o multimodo consistia basicamente no número de pessoas que poderiam ser empregues para terminar uma atividade.

4.3. Descrição do procedimento aplicado

A aplicação desenvolvida no âmbito desta dissertação, permite escolher entre dois procedimentos para executar. O procedimento pode ser baseado no algoritmo BFS (primeira abordagem ao problema) ou no algoritmo FBS. No caso do FBS deve ser introduzido um valor de “*beam width*”.

Consideramos que as atividades podem estar em um de quatro estados: “*to begin*”, “*pending*”, “*active*” (i.e., em execução) e “*finished*”. Para encontrar as primeiras atividades a iniciar o projeto, procura-se todas as atividades que não têm precedentes. Estas atividades são colocadas no estado “*to begin*”. As restantes são colocadas no estado “*pending*”.

As atividades no estado “*to begin*” são analisadas de modo a avaliar a disponibilidade de recursos. Se existirem recursos suficientes, todas as atividades no estado “*to begin*” são alteradas para o estado “*active*”, caso contrário são aplicadas, em sequência, as seguintes regras, até os conflitos de recurso estarem resolvidos:

1. Ceder prioridade às atividades que são precedentes de um maior número de atividades no estado “*pending*”.
2. Ceder prioridade às atividades que usam menos recursos.
3. Ceder prioridade respeitando a sequência de entrada das atividades no estado “*to begin*”; isto é aplicado o método FIFO, ou “*First In First Out*”.

Um “evento” representa o instante de início de uma ou mais atividades; o projeto inicia no instante 0. Cada atividade deve alocar exatamente uma unidade de cada recurso que necessita. Para cada atividade, são calculadas todas as combinações possíveis de utilização de níveis recursos. De seguida, é feita a junção de todas as combinações de cada atividade, obtendo-se assim as possíveis combinações iniciais de modos de alocação para todas as atividades no estado “*active*”.

Estas combinações iniciais formam ramificações que se poderão percorrer, para obter soluções para o problema. Todas as combinações têm uma cópia da informação relativa à disponibilidade de recursos e ao estado atual das atividades. Estas informações são modificadas de maneira distinta em cada ramificação percorrida no avanço do projeto.

Se o algoritmo selecionado para encontrar a solução for o FBS então:

1. Se o número de combinações é menor que o valor “*beam width*”, todas as combinações são mantidas.
2. Caso contrário, o número de combinações tem de ser reduzido ao valor de “*beam width*”. Neste caso algumas das combinações têm de ser descartadas, usando para tal uma das fórmulas disponíveis para avaliar as melhores combinações:

Selecionar as melhores combinações que têm:

- Menor Duração.
- Menor Custo.
- Menor rácio Custo-Duração (Custo/Duração).

Nem todas as combinações podem ser diretamente comparadas, uma vez que o número de atividades escalonadas em cada uma pode ser distinto. Portanto as

combinações são agrupadas pelo número de atividades que já foram escalonadas para executar.

Assim as combinações são comparadas com outras pertencentes ao mesmo grupo. O conjunto final (que respeita o valor de “*beam width*”) é constituído por combinações de cada um dos grupos formados antes.

O rácio de contribuição de cada grupo para o conjunto final é calculado por:

$$ratio = groupCount / totalCombinations \quad (15)$$

Em qualquer dos algoritmos, continua-se a aplicar os seguintes procedimentos a cada combinação:

3. Para todas as atividades em execução, procuram-se as que terminarão primeiro, e estabelece-se esse tempo de fim como o próximo evento.
4. Atualizam-se todas as atividades encontradas no passo 3 para o estado de “*finished*”, e liberam-se os recursos utilizados por elas.
5. Para todas as atividades no estado “*to begin*”, procuram-se aquelas que poderão iniciar, do mesmo modo usado ao iniciar o projeto. As atividades no estado “*to begin*” são analisadas de maneira a verificar a disponibilidade de recursos. Se não existirem conflitos de recursos, todas as atividades no estado “*to begin*” são alteradas para o estado “*active*” e os recursos são marcados como ocupados, caso contrário são aplicadas em sequência as regras 1 a 3 apresentadas acima.
6. Para todas as atividades no estado “*pending*”, verificam-se as relações de precedência. Todas aquelas que podem iniciar, isto é são *precedence-feasible*, alteram o seu estado para “*to begin*”. Estas atividades não são acrescentadas ao conjunto analisado no passo anterior, para que seja dada prioridade às atividades que entraram primeiro no estado “*to begin*”.
7. Se existirem recursos disponíveis e alguma das atividades “*pending*” tiver passado a “*to begin*”, é aplicado novamente o passo 5.
8. Para todas as atividades que passam ao estado “*active*”, atribui-se o evento encontrado no passo 3, como seu tempo de início e determinam-se para cada uma, todas as combinações possíveis dos seus níveis de recursos. Depois reúnem-se (combinam-se) as combinações de todas as atividades obtendo-se assim, novas combinações a juntar à que está a ser analisada. Assim são criadas novas ramificações a processar de modo a alcançar a solução do projeto.
9. Continua-se aplicando o passo 1 (ou 3, conforme o algoritmo escolhido), a cada nova combinação.
10. Quando todas as atividades estiverem no estado “*finished*”, temos uma solução do projeto válida.

Quando as soluções finais do projeto são encontradas, ou seja quando chegamos às folhas da árvore (nos nós antecedentes temos soluções parciais), avalia-se, para cada solução, o tempo de término do projeto e o custo total, optando-se depois pelo melhor.

Os procedimentos B&B e *Beam Search* são métodos tipicamente aplicados ao RCPSP. Os aspetos diferenciadores da abordagem aqui apresentada são, por um lado a definição de um conjunto de estados percorridos pelas atividades, combinados com as regras de prioridade aplicadas para resolver os conflitos de recursos, e por outro as regras de avaliação de alternativas usadas para descartar as ramificações “indesejáveis”.

5. Software

5.1. Modelo de dados

O *software* foi desenvolvido usando a linguagem *c#* e o Visual Studio 2010. Para construir a rede do projeto (em formato AoN) foi usada a biblioteca *Graph#*. Trata-se de uma biblioteca *open source* ou de código livre baseada numa biblioteca anterior, a *QuickGraph*. É usada em aplicações *.Net/WPF* i.e. aplicações concebidas através plataforma de desenvolvimento da Microsoft denominada *.Net Framework*. Estas bibliotecas suportam *GraphML*, um formato de ficheiro baseado em XML para grafos, no entanto não fizemos uso deste formato de ficheiro. O grafo é gerado automaticamente, para cada projeto aberto na aplicação. Para guardar/abrir projetos existentes foi definido um ficheiro XML que engloba todas as propriedades do projeto para o problema aqui estudado.

Foram definidas 3 classes principais para a aplicação:

- “*NetProject*”: é a classe base que contém todas a informação do projeto: nome, atividades, recursos, data de entrega, custo por bónus e por penalidade.
- “*Resource*”: que contem a informação relativa aos recursos, a sua identificação, disponibilidade e níveis. Cada nível tem o seu custo unitário.
- “*Activity*”: tem a identificação da atividade, os recursos de que necessita, e as precedentes.

As classes referidas são as mais relevantes para representar o projeto, depois são usadas classes adicionais para suporte ao cálculo da solução do projeto. Entre as classes adicionais, temos:

- “*ResourceLevel*”: serve para guardar a informação relativa aos níveis de cada recurso.
- “*Level*”: que guarda a informação acerca do nível de utilização escolhido para os recursos necessários por cada atividade.

- “ActivityConfiguration”: guarda o modo (nível) de utilização selecionado para todos os recursos da atividade. Além disso, guarda ainda o custo e a duração da atividade para a configuração elegida.
- “Event”: serve para guardar os instantes de início e de fim de execução das atividades.
- “UDC”: guarda o estado em que se encontram as atividades ao longo do progresso do projeto.

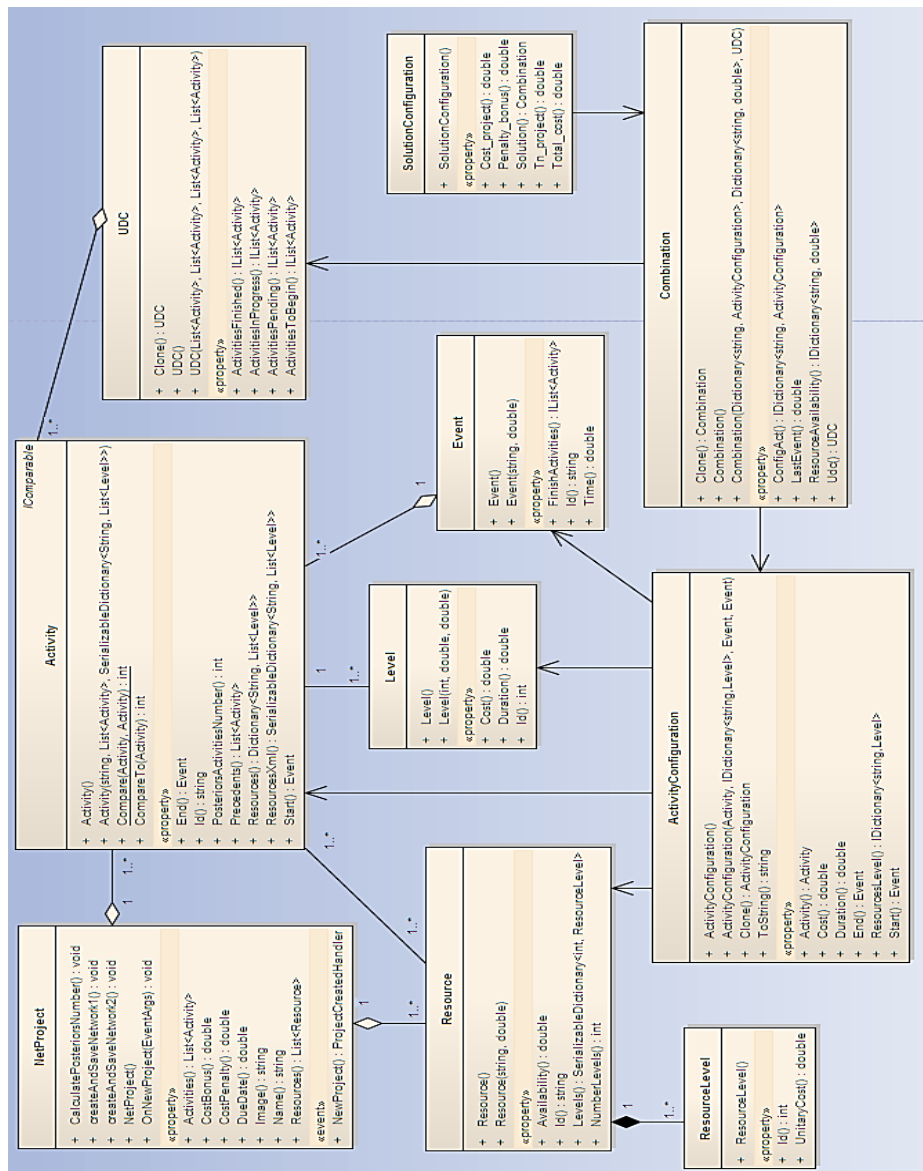


Figura 12 - Diagrama do Modelo de Dados.

5.2. Funcionalidades

A aplicação disponibiliza as funcionalidades descritas a seguir.

- Abrir um projeto:

O projeto deve estar guardado como um ficheiro XML, usando uma estrutura que representa os componentes do projeto (atividades, recursos, etc.).
- Criar um projeto:

Há dois passos principais para criar um projeto:

 1. Primeiro o “esqueleto” do projeto é construído através de um assistente que começa por pedir o nome do projeto, o número de recursos e o número de atividades. De seguida é pedida a informação relativa aos recursos (disponibilidade e número de níveis). Por fim é introduzida a informação das atividades, a sua identificação e as suas precedentes.
 2. Em segundo lugar, é gerado o grafo do projeto e uma matriz onde pode ser inserida a restante informação do projeto.
- Editar/Guardar um projeto:

Ao clicar no botão “Edit Project”, as células com os valores relativos à durações das atividades, custos e disponibilidade dos recursos ficam editáveis. O botão referido passa a ser “Validate Project”, depois de efetuadas as alterações o utilizador deve voltar a clicar neste botão, para poder depois determinar as soluções.
- Determinar a melhor solução.

A solução pode ser alcançada usando o algoritmo baseado em BFS ou o baseado em FBS.
- Salvar a solução obtida num ficheiro txt.

A partir da opção do menu “Save Solution” o utilizador pode salvar a solução atual exibida no painel ao fundo da aplicação.

5.3. Detalhes da Implementação

Na figura abaixo podemos ver alguns prints da aplicação desenvolvida.

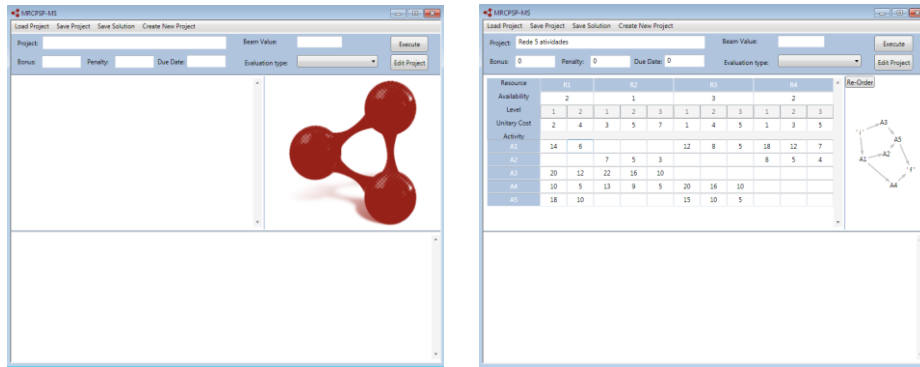


Figura 13 - Prints da aplicação

Ao abrir a aplicação o utilizador tem a possibilidade de abrir um projeto existente ou criar um novo.

Se optar por criar um novo projeto, é aberto um assistente de vários passos onde vai sendo introduzida a informação relativa ao número de atividades, número de recursos (sua disponibilidade e número de níveis) e precedentes de cada atividade.

5.3.1 Edição/Criação de projetos

As figuras abaixo ilustram o assistente de criação de um projeto:

Figura 14 - Passo 1 do assistente de criação de projeto.

O seguinte passo é executado tantas vezes quanto o número de recursos introduzido no primeiro passo.

Project Details

Resource 1 R1

Availability: 5

Number of Levels: 3

Next >

Figura 15 - Passo 2 do assistente de criação de projeto.

O passo 3 é executado tantas vezes quantas o número de atividades, introduzido no primeiro passo. Se em vez de clicar “Next” o utilizador clicar “Go to precedents”, este passo é saltado e as atividades ficam com o ID “ A_i ” com i a variar de 1 a n onde n é o numero de atividades.

Project Details

Activity 1 ID: A1

Next > Go to precedents >>

Figura 16 - Passo 3 do assistente de criação de projeto

O passo 4 é executado tantas vezes quantas o número de atividades, e permite introduzir a informação relativa às precedentes de cada atividade.

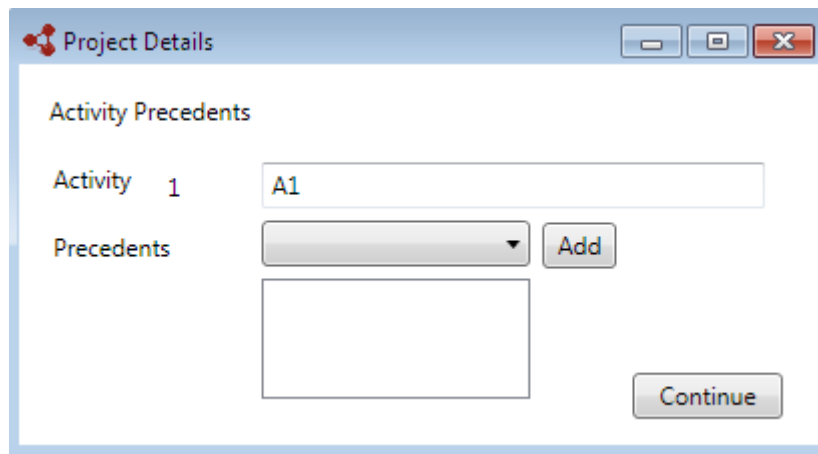


Figura 17 - Passo 4 do assistente de criação de projeto.

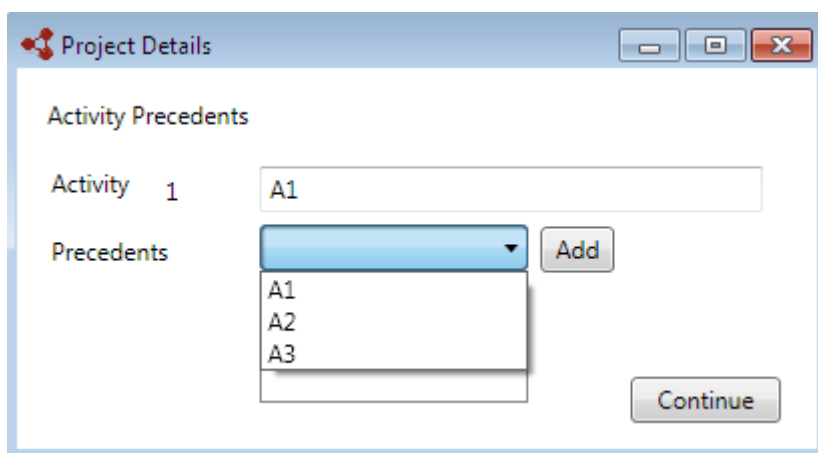


Figura 18 - Passo 4 do assistente de criação de projeto.

Depois de executados os passos descritos acima, é criada uma matriz na janela principal da aplicação. Nesta matriz são introduzidos os custos unitários de cada nível dos recursos, e as durações associadas para cada nível e para cada atividade que requer determinado recurso. Também é criado um grafo correspondente à rede do projeto.

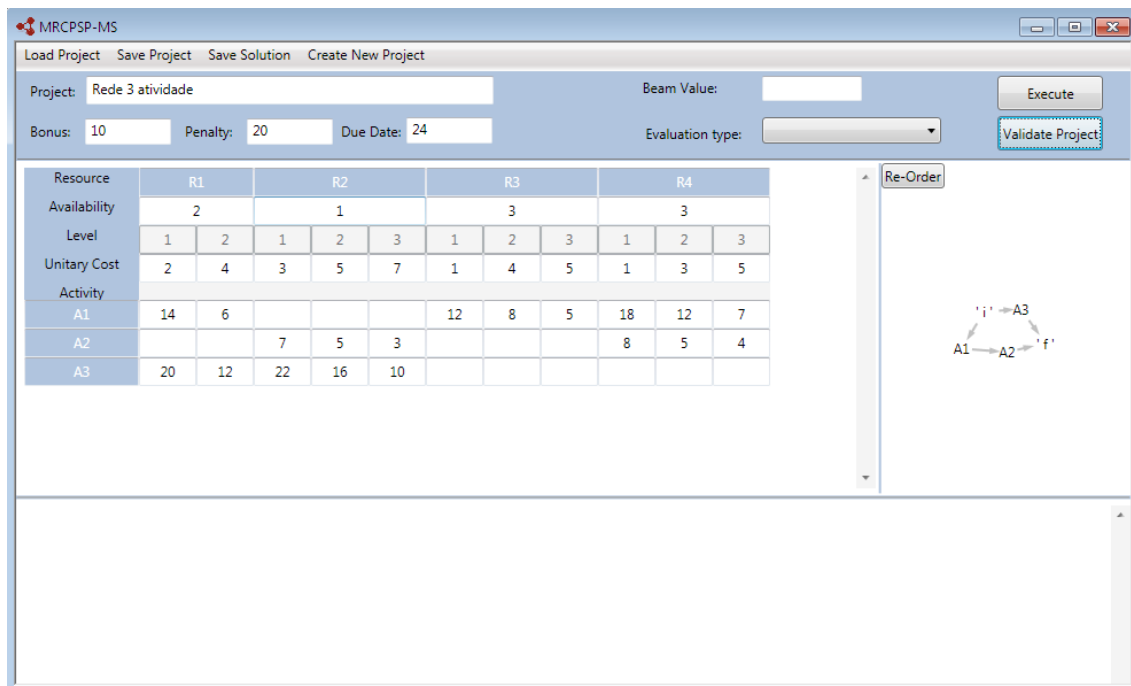


Figura 19 - Janela principal da aplicação.

A janela principal permite ainda alterar o nome do projeto, introduzir o valor de bónus, de penalidade e especificar data de entrega do projeto.

O grafo tem um botão “Re-Order” que permite reorganizar automaticamente o grafo, de modo a tentar encontrar a melhor apresentação gráfica dos nós na rede.

Depois de introduzidos todos os dados do projeto é necessário clicar em “Validate Project”. Só depois do projeto validado, é que fica disponível ao utilizador poder encontrar uma solução. Esta validação verifica essencialmente se, para os recursos necessários a cada atividade, foram introduzidas durações correspondentes a cada nível do recurso. Ou seja, é obrigatório introduzir a duração para todos os níveis do recurso, se este for utilizado pela atividade; caso isso não aconteça é assinalado o nível em falta.

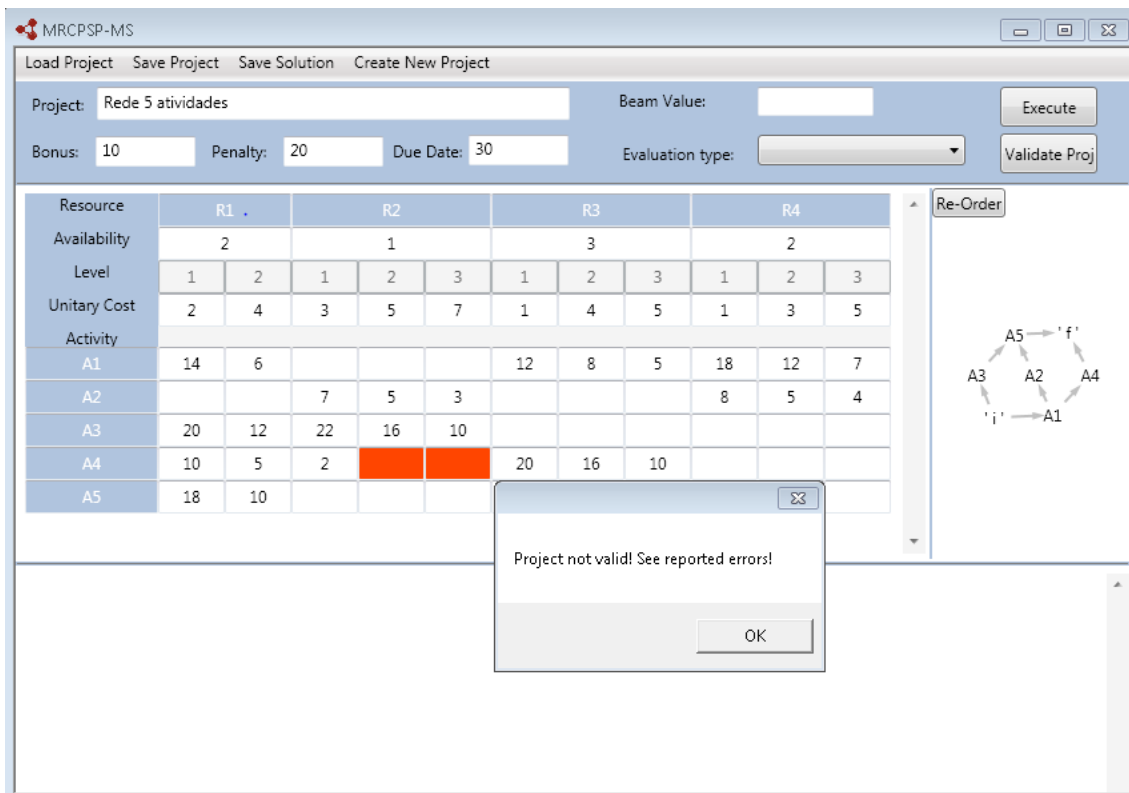


Figura 20 - Validação de projetos.

O projeto criado pode ser guardado para ser aberto/editado posteriormente. A gravação cria um ficheiro xml que guarda toda a estrutura e valores do projeto, ficheiro que também poderá ser diretamente editado se for conveniente.

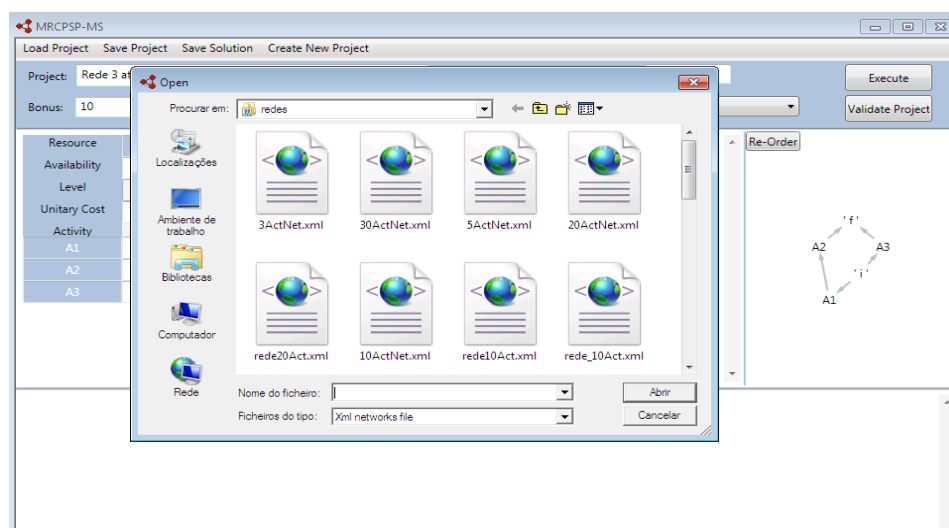


Figura 21 - Guardar/Abrir projeto.

```

- <NetProject Name="Rede 3 atividade" CostBonus="10" CostPenalty="20" DueDate="24"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  - <Activities>
    - <Activity Id="A1">
      - <ResourcesXml>
        - <item>
          - <key>
            <string>R1</string>
          </key>
          - <value>
            - <ArrayOfLevel>
              <Level Id="1" Duration="14" Cost="28"/>
              <Level Id="2" Duration="6" Cost="24"/>
            </ArrayOfLevel>
          </value>
        </item>
        - <item>
          - <key>
            <string>R3</string>
          </key>
          - <value>
            - <ArrayOfLevel>
              <Level Id="1" Duration="12" Cost="12"/>
              <Level Id="2" Duration="8" Cost="32"/>
              <Level Id="3" Duration="5" Cost="25"/>
            </ArrayOfLevel>
          </value>
        </item>
        - <item>
          - <key>
            <string>R4</string>
          </key>
          - <value>
            - <ArrayOfLevel>
              <Level Id="1" Duration="18" Cost="18"/>
              <Level Id="2" Duration="12" Cost="36"/>
              <Level Id="3" Duration="7" Cost="35"/>
            </ArrayOfLevel>
          </value>
        </item>
      </ResourcesXml>

```

Figura 22 - Excerto do ficheiro xml que representa um projeto.

5.3.2 Determinar solução do projeto

Para determinar uma solução para o projeto, o utilizador pode usar o procedimento BFS ou o FBS. É usado o FBS se for introduzido um *Beam Value* na caixa de texto correspondente, e se for escolhido um tipo de avaliação das soluções, caso contrário é executado o procedimento BFS.

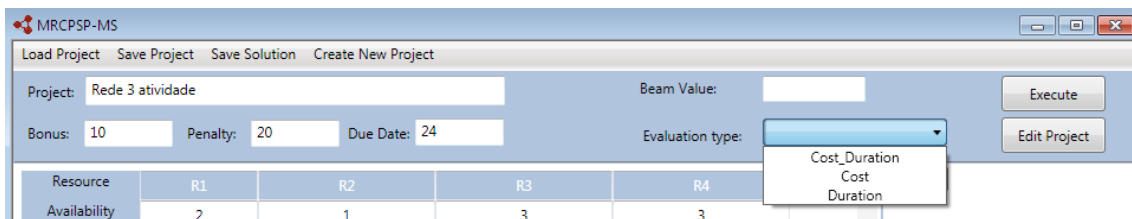


Figura 23 - Parâmetros usados no procedimento para obtenção de uma solução.

Depois de executado o procedimento escolhido, a solução encontrada é exibida no painel do fundo da janela principal. A solução mostra o tempo de computação necessário para obter a solução, o total sem bônus ou penalidade, o total com aplicação de bônus e penalidade, o instante de conclusão do projeto, e o modo recomendado e escalonamento das atividades e utilização de níveis de recursos.

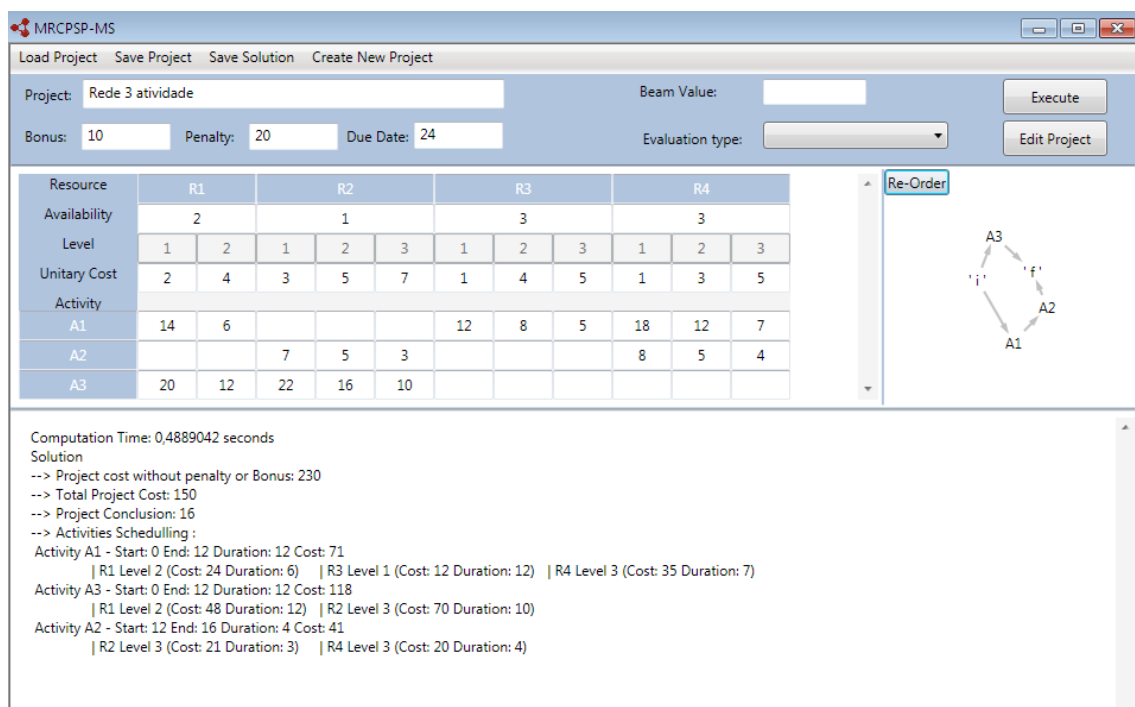


Figura 24 - Apresentação da solução de um projeto.

6. Resultados

Os testes apresentados a seguir foram efetuados num computador portátil com processador Intel® Pentium® M @1.20GHz e com 1.25GB RAM de memória. As soluções detalhadas de cada rede estão na seção de anexos.

6.1. Rede 3 atividades

Consideremos a rede de 3 atividades que utiliza 4 recursos, um recurso com 2 níveis e os restantes com 3 níveis possíveis de utilização. Os custos de *earliness* e *tardiness* são respetivamente $\gamma_E = -10$, $\gamma_L = 20$, a data de entrega é $T_S = 24$.

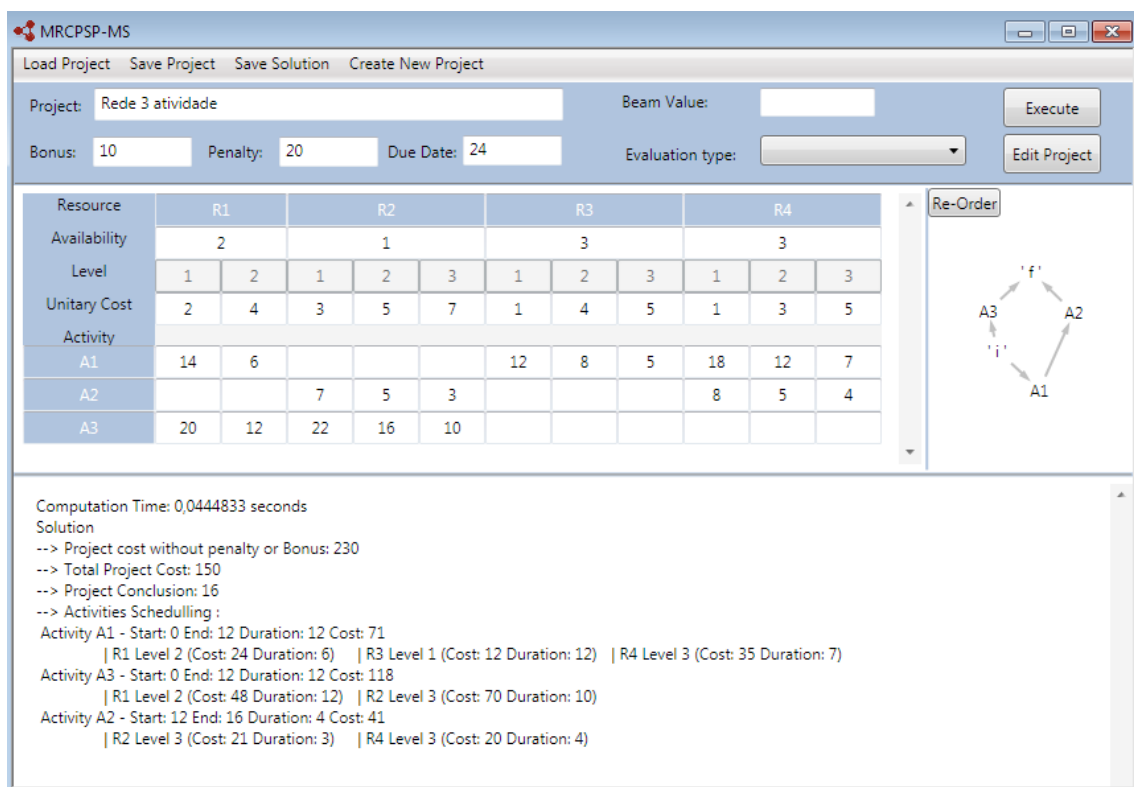


Figura 25 - BFS aplicado a rede de 3 atividades.

Como a data de entrega é 24 e a conclusão do projeto foi no instante 16, aplica-se um bônus.

Tabela 4 - Totais da solução BFS para rede de 3 atividades.

t_b	C_E	C_T	C_R	TC	Runtime (ms)
16,0	80,0	0,0	230	150,0	44

O algoritmo BFS gera 972 combinações para a rede de 3 atividades. Foi aplicado um *beam width* entre 20 e 900. Elegemos um valor superior de *beam width* muito próximo do número combinações geradas pelo algoritmo BFS, para podermos fazer uma comparação clara entre os dois algoritmos. Em termos de peso computacional, não há diferença entre o valor de *beam width* ser 20 ou menor que 20, portanto não tínhamos qualquer proveito em aplicar um valor menor que este.

Tabela 5 - Totais da solução FBS para rede de 3 atividades.

Beam Width	Evaluation Type																	
	Cost						Duration						Cost/Duration					
	t_b	C_E	C_T	C_R	TC	Runtime (ms)	t_b	C_E	C_T	C_R	TC	Runtime (ms)	t_b	C_E	C_T	C_R	TC	Runtime (ms)
20	25	0	20	200	220	8	16	80	0	230	150	2	29	0	100	196	296	11
50	24	0	0	205	205	14	16	80	0	230	150	4	28	0	80	193	273	22
200	20	40	0	218	178	51	16	80	0	230	150	68	26	0	40	201	241	61
450	16	80	0	230	150	198	16	80	0	230	150	319	24	0	0	205	205	177
700	16	80	0	230	150	162	16	80	0	230	150	112	22	20	0	213	193	116
900	16	80	0	230	150	431	16	80	0	230	150	134	19	50	0	225	175	197

Podemos observar na tabela acima que o tipo de avaliação (“Evaluation Type”) das soluções que se vão formando, que permite obter mais rapidamente o mesmo resultado obtido pelo algoritmo BFS, é o tipo “Duration”.

O tipo “Cost” tem um desempenho melhor que o tipo “Cost/Duration”, este último não chega sequer a alcançar a melhor solução obtida com o *beam width* igual a 900. No entanto o “Cost/Duration” dá-nos o menor custo do projeto quando não são considerados os bônus e penalidades a aplicar, $C_r = 193$.

6.2. Rede 5 atividades

Consideremos uma rede de 5 atividades, que usa os mesmos recursos da rede anterior de 3 atividades. Assumimos os seguintes custos e data de entrega: $\gamma_E = -10$, $\gamma_L = 20$, $T_S = 30$.

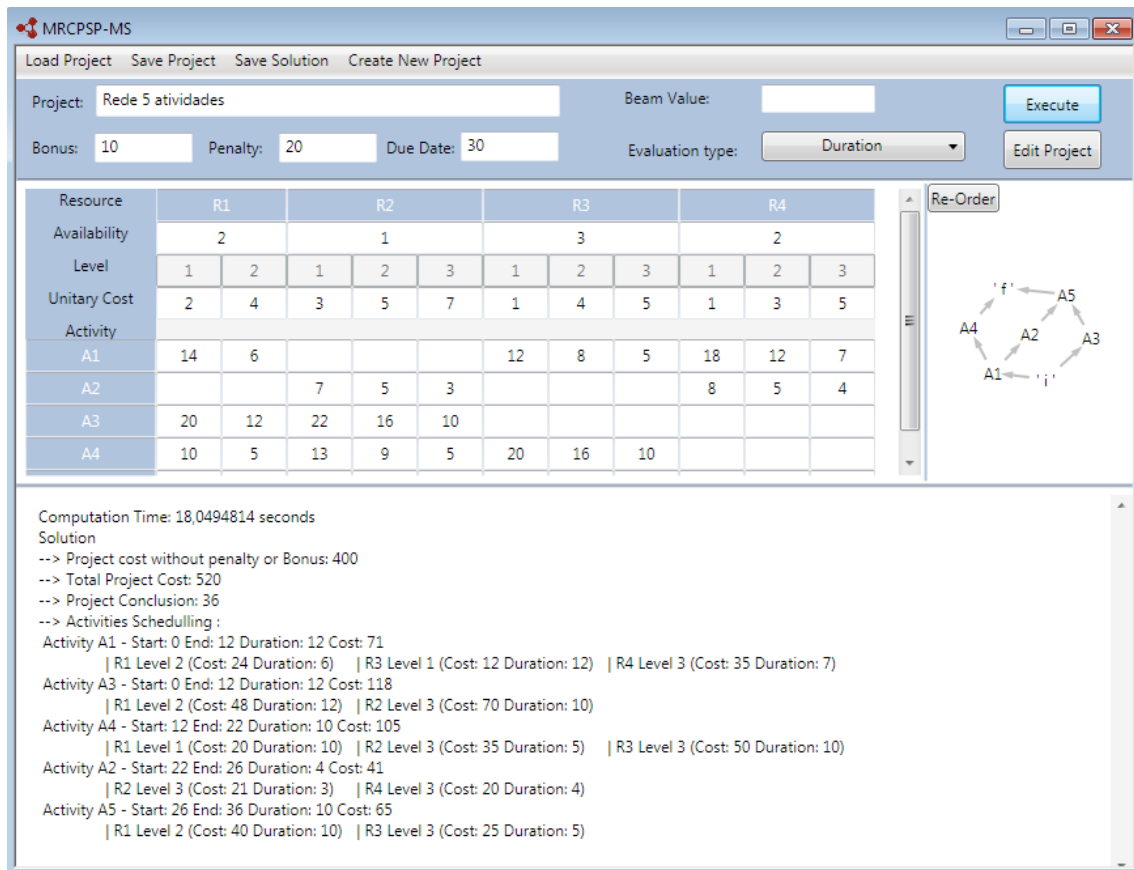


Figura 26 - BFS aplicado a rede de 5 atividades.

Tabela 6 - Totais da solução BFS para rede de 5 atividades.

t_n	C_E	C_T	C_R	TC	Runtime (s)
36,0	0,0	120,0	400	520,0	18,0

Tabela 7 - Totais da solução FBS para rede de 5 atividades.

Beam Width	Evaluation Type																	
	Cost						Duration						Cost/Duration					
	t_n	C_E	C_T	C_R	TC	Runtime (s)	t_n	C_E	C_T	C_R	TC	Runtime (s)	t_n	C_E	C_T	C_R	TC	Runtime (s)
50	63	0	660	323	983	0,03	36	0	120	400	520	0,02	68	0	760	315	1075	0,03
500	58	0	560	333	893	0,3	36	0	120	400	520	0,31	65	0	700	319	1019	0,24
5000	52	0	440	353	793	3,6	36	0	120	400	520	4,4	60	0	600	329	929	3,71
10000	48	0	360	363	723	5,3	36	0	120	400	520	8,0	58	0	560	333	893	6,2
50000	37	0	140	395	535	17,0	36	0	120	400	520	17,8	51	0	420	360	780	14,7
100000	36	0	120	400	520	19,3	36	0	120	400	520	25,3	42	0	240	383	623	20,0

O BFS gera 104976 combinações para a rede de 5 atividades. Foi usado um *beam width* entre 50 e 100000. Mais uma vez o *Evaluation type* que permitiu alcançar a melhor solução foi o *Duration*. Os restantes não chegam à melhor solução, mas dão resultados melhores se considerarmos apenas o custo do projeto sem bônus ou penalidade: $C_r = 323$ para o tipo de avaliação *Cost* e $C_r = 315$ para o tipo *Cost/Duration*.

6.3. Rede 10 atividades

Consideremos agora uma rede de 10 atividades que utiliza 5 recursos, 3 deles têm 2 níveis possíveis de utilização, 1 tem 5 níveis possíveis de utilização e o restante tem 3 possíveis níveis de utilização. Assumimos os seguintes custos e data de entrega: $\gamma_E = -15$, $\gamma_L = 20$, $T_s = 30$.

A solução BFS não pode ser alcançada por restrições computacionais, em termos de memória.

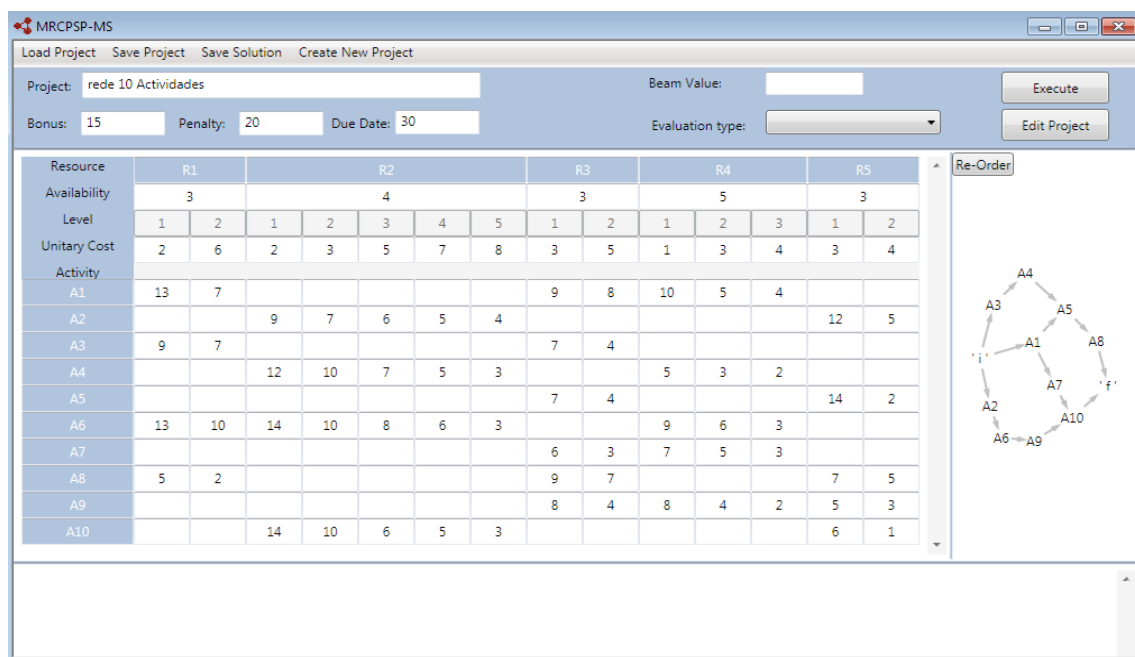


Figura 27 - Aplicação com rede de 10 atividades.

Tabela 8 - Totais da solução FBS para rede de 10 atividades.

Beam Width	Evaluation Type																	
	Cost						Duration						Cost/Duration					
	t_f	C^E	C^T	C^R	TC	Runtime (s)	t_f	C^E	C^T	C^R	TC	Runtime (s)	t_f	C^E	C^T	C^R	TC	Runtime (s)
50	29	15	0	406	391	0,2	24	90	0	508	418	0,2	45	0	340	456	796	0,16
500	29	15	0	406	391	3,2	26	60	0	468	408	4,1	45	0	300	444	744	3,3
1000	29	15	0	406	391	4,9	26	60	0	468	408	6,6	45	0	300	444	744	5,6
5000	27	45	0	417	372	17,2	26	60	0	468	408	31,3	44	0	320	447	727	19,4
10000	27	45	0	417	372	40,5	24	90	0	490	400	50,8	44	0	280	440	720	38,1
50000	27	45	0	405	360	723	23	90	0	480	375	635	42	0	250	451	691	355

Para esta rede já se observa um decréscimo na performance pelos valores de *runtime*. Este projeto, além de ser constituído por mais atividades que os anteriores, também possui maior número de recursos e de níveis associados a estes. As melhores soluções foram obtidas pelo *Evaluation Type: Cost*, alcançando um $TC = 360$ para um *beam width* de 50000.

Usando o tipo *Duration* obtemos soluções razoáveis; por outro lado o tipo *Cost/Duration* alcançou soluções muito fracas.

6.4. Rede 20 atividades

Para uma rede de 20 atividades que utiliza 4 recursos, cada qual com 3 níveis diferentes, assumimos os seguintes custos e data de entrega: $\gamma_E = -10$, $\gamma_L = 20$, $T_S = 70$.

A solução BFS não pode ser alcançada por restrições computacionais.

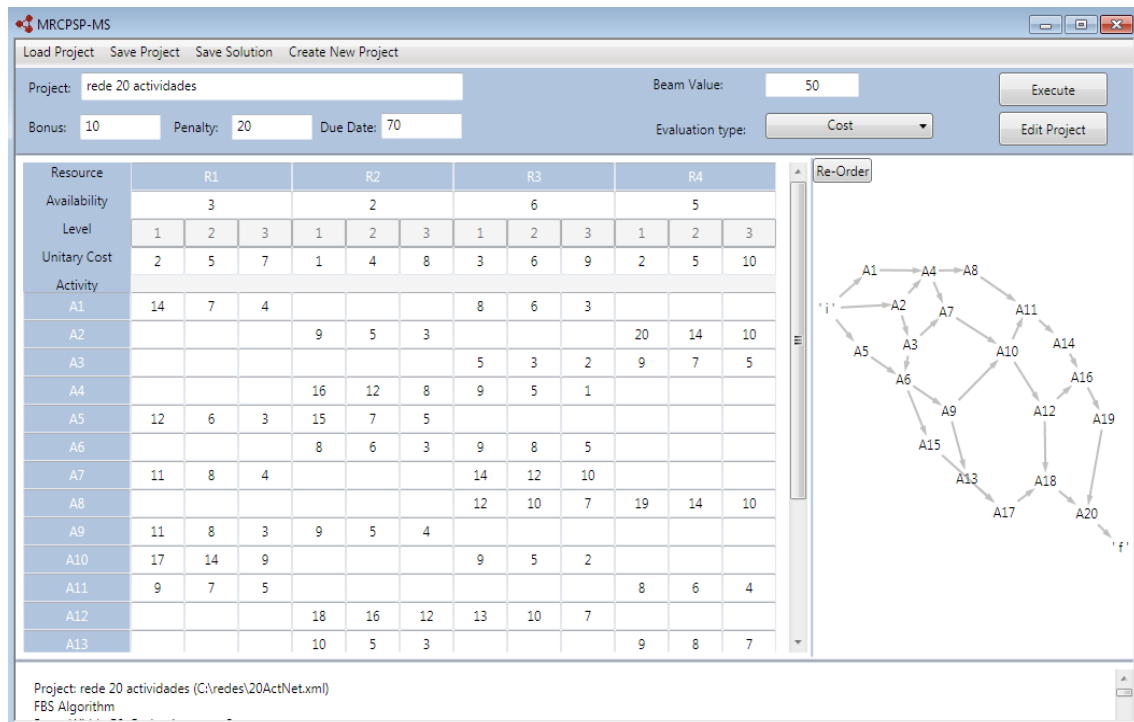


Figura 28 - Aplicação com rede de 20 atividades (1ª parte).

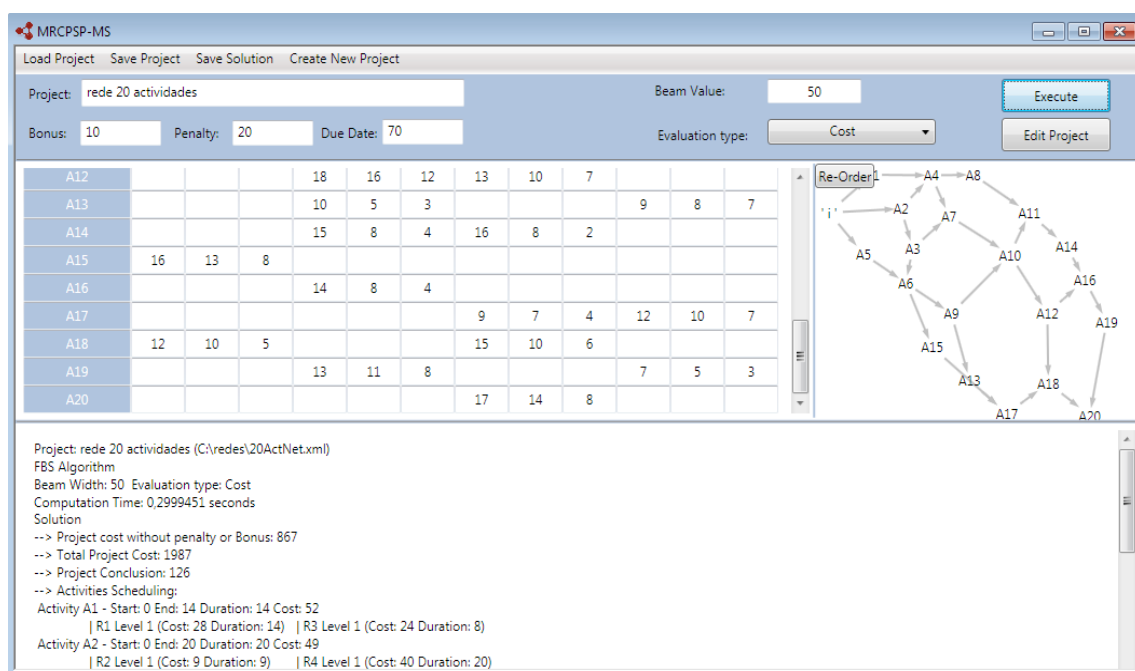


Figura 29 - Aplicação com rede de 20 atividades (2ª parte).

Tabela 9 - Totais da solução FBS para rede de 20 atividades.

Beam Width	Evaluation Type																	
	Cost						Duration						Cost/Duration					
	t_f	C_E	C_T	C_R	TC	Runtime (s)	t_f	C_E	C_T	C_R	TC	Runtime (s)	t_f	C_E	C_T	C_R	TC	Runtime (s)
50	135	0	1300	846	2146	2,34	70	0	0	1502	1502	1,9	135	0	1300	846	2146	1,34
500	110	0	800	902	1702	3,17	70	0	0	1502	1502	10,4	129	0	1180	865	2045	4,34
1000	110	0	800	902	1702	15,9	70	0	0	1492	1492	26,2	129	0	1180	865	2045	13,7
2000	110	0	800	902	1702	25,0	70	0	0	1479	1479	164	129	0	1180	865	2045	23,2
3000	110	0	800	902	1702	31,9	70	0	0	1479	1479	257	129	0	1180	864	2044	35,4
5000	110	0	800	902	1702	57,3	-	-	-	-	-	-	129	0	1180	864	2044	51,7
10000	110	0	800	902	1702	79,0	-	-	-	-	-	-	129	0	1180	864	2044	84,2

Para esta rede não foi possível obter a solução para os *beam width* de 5000 e 10000 para o *Evaluation Type: Duration*, por restrições computacionais em termos de memória. Isto aconteceu, porque para estes valores de *beam width* e para os dados do projeto em questão (disponibilidade de recursos, número de níveis, etc.), obtemos a determinada altura da execução do procedimento, soluções parciais com muitas atividades em execução simultânea, provocando uma sobrecarga em termos de memória do computador.

Ainda assim as melhores soluções foram obtidas pelo *Duration*, $TC = 1479$. Mais uma vez o *Cost/Duration* não forneceu boas soluções e o *Cost*, mesmo com um *beam width* vinte vezes maior, não alcançou uma solução melhor que a obtida pelo *beam width* 500. A má performance do *Cost* está diretamente relacionada com a data de entrega especificada: 70. Para uma data de entrega de 135 teríamos garantidamente um $TC = 846$ idêntico ao c_r obtido pelo *beam width* 50.

Esta rede foi usada para algumas experiências em termos de introdução de alterações no código, à regra de avaliação e descarte dos ramos da árvore da procura. Considerou-se manter sempre todos os ramos com o maior número de atividades já escalonadas, ou por exemplo manter todos aqueles que já possuíam todas as atividades escalonadas.

Estas experiências permitiram encontrar mais rapidamente melhores soluções, mas não de forma coerente. A solução fica sujeita aos parâmetros/condições do próprio projeto e aos parâmetros de *beam width* escolhidos, sendo que um *beam width* maior não obtém necessariamente uma solução melhor. Ou seja, a forma de encontrar a melhor solução torna-se aleatória.

6.5. Rede 30 atividades

Consideremos agora, uma rede de 30 atividades que utiliza 4 recursos, 3 dos quais com 2 níveis diferentes e um com 4 níveis. Assumimos os seguintes custos e data de entrega:

$$\gamma_E = -10, \gamma_L = 10, T_S = 100.$$

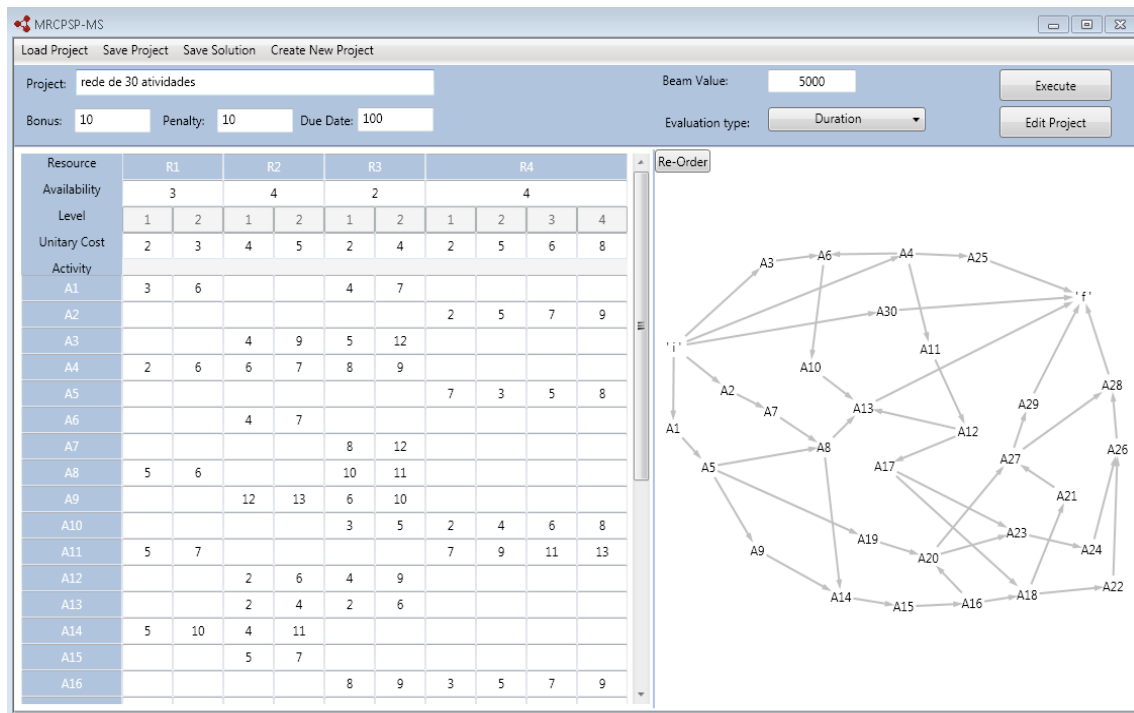


Figura 30 - Aplicação com rede de 30 atividades (1ª parte).

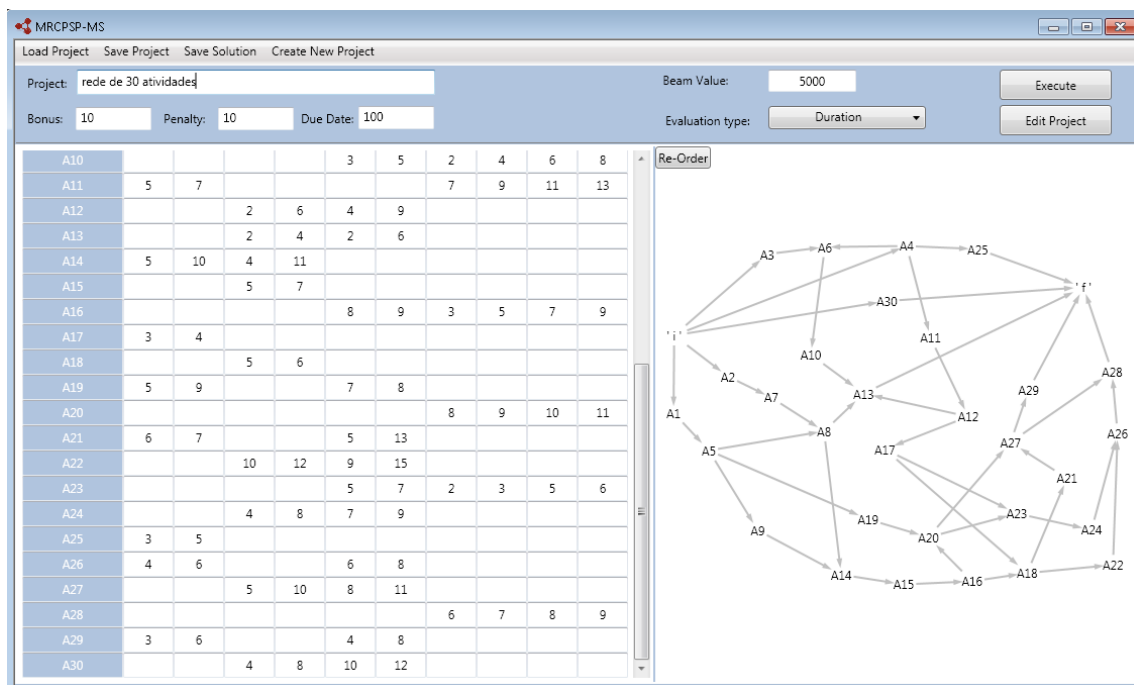


Figura 31 - Aplicação com rede de 30 atividades (2ª parte).

Tabela 10 - Totais da solução FBS para rede de 30 atividades.

Beam Width	Evaluation Type																	
	Cost						Duration						Cost/Duration					
	t_h	C_E	C_T	C_R	TC	Runtime (s)	t_h	C_E	C_T	C_R	TC	Runtime (s)	t_h	C_E	C_T	C_R	TC	Runtime (s)
50	87	130	0	696	566	1,2	94	60	0	668	608	1,2	101	0	10	731	741	1.3
500	87	130	0	687	557	4,2	87	130	0	746	616	2,6	100	0	0	725	725	3.3
1000	87	130	0	687	557	8,0	87	130	0	746	616	12,9	100	0	0	725	725	6.8
2000	87	130	0	687	557	47,6	87	130	0	746	616	51,8	99	10	0	688	678	48.9
5000	87	130	0	687	557	160	87	130	0	746	616	163	95	50	0	719	669	135
10000	87	130	0	687	557	242	87	130	0	746	616	346	95	50	0	697	647	178

Para este projeto a melhor solução encontrada foi $TC = 557$ através do *Evaluation type: Cost*. Nas soluções encontradas pelo *Duration*, vemos que a obtida pelo *beam width* menor foi melhor que as restantes. O *beam width* de 50 conseguiu preservar soluções de menor custo ao manter um leque menor de ramos da árvore de procura, enquanto os *beam width* superiores acumularam melhores soluções em termos de duração mas que não eram tão boas em termos de custo. O *Cost/Duration* alcançou novamente, piores soluções que os outros dois tipos de avaliação.

O desempenho dos Evaluation Types está muito dependente das características do projeto e em especial dos valores assumidos para bônus, penalidade e data de entrega. Em consonância com estes valores o tipo *Cost* pode superar o tipo *Duration* ou vice-versa.

7. Conclusões e trabalho futuro

7.1. Conclusões

O RCPSP pertencendo à classe de problemas NP-Completo torna-se um problema difícil de resolver. O desafio é ainda maior quando são aplicadas generalizações como: multiobjectivo, multimodo, multiprojecto, etc., no entanto estas generalizações permitem adaptar estes projectos à realidade concreta. Logo as abordagens de mais sucesso, que permitem uma utilização do modelo na prática, são as abordagens heurísticas que lidam melhor com modelos flexíveis e com problemas de maior dimensão.

Um exemplo de *software* comercial na área gestão de projectos é o “izaro grey” (<http://www.grupoi68.com/>). É destinado à produção industrial e faz o escalonamento das Ordens de Fabrico. É vocacionado para a produção discreta e repetitiva de capacidade finita, tendo em consideração diversos factores produtivos. Aplica uma heurística, mais concretamente um algoritmo multicritério. Foi desenvolvido por um consórcio entre empresas de sistemas informáticos e o INESC Porto, esta última responsável pelo algoritmo incorporado. Contudo, existem ainda muitas heurísticas boas não incorporadas em *software* comercial, o que é paradoxal, pois a grande mais-valia dos desenvolvimentos teóricos na área, deverá ser o poder contribuir para facilitar a vida dos que têm situações reais para solucionar.

O problema estudado nesta dissertação é uma extensão do problema de escalonamento em projectos com restrição de recursos, o MRCPSP-MS. Os objectivos eram desenvolver um procedimento capaz de resolver este problema, implementá-lo e testá-lo com projectos de diferentes dimensões.

A aplicação desenvolvida possui uma interface apelativa, permite criar e guardar projectos e soluções. Temos assim uma ferramenta prática e útil para representar facilmente projectos multimodo e encontrar uma solução para o problema em questão – seleccionar o melhor modo

para cada recurso e atividade de forma a minimizar o custo total do projeto, considerando o custo dos recursos, a penalidade por atraso e o bônus por conclusão antecipada.

Toda a implementação foi efetuada na linguagem C#. Foi desenvolvida uma adaptação do algoritmo FBS, trata-se de um procedimento heurístico B&B, que usa travessia em largura (BFS) para percorrer a árvore de pesquisa, mas mantém apenas os melhores nós a cada etapa/nível da árvore.

Os testes efetuados para diferentes redes mostraram que a ferramenta fornece soluções válidas, embora não garanta que sejam as ótimas. Foram experimentados três tipos de avaliação para descartar soluções parciais (apenas são mantidas as n melhores, sendo n o valor de *beam width*), obtidas durante a execução do algoritmo FBS.

Os resultados dos testes permitem concluir que as melhores soluções são alcançadas pelo tipo de avaliação *Cost* ou *Duration*. O tipo de avaliação *Cost/Duration* poderá ser descartado ou reestruturado, já que as soluções obtidas são comumente piores que as obtidas por um dos outros dois tipos de avaliação. A performance dos tipos de avaliação está intrinsecamente relacionada com as características do projeto, em especial com os parâmetros de bônus, penalidade e data de entrega.

A máquina onde os testes foram executados está obsoleta (em termos de processador e memória). Os valores de *runtime* obtidos diminuiriam em qualquer uma das máquinas comercializadas atualmente. Para cada um dos projetos testados foram obtidas, pelo menos 18 soluções válidas, com custos totais (TC) e data de conclusão (t_n) aceitáveis. Como se trata de um procedimento heurístico, não temos garantias que sejam ótimas.

7.2. Trabalho futuro

O procedimento desenvolvido pode ser revisto e estudado de modo a introduzir novos tipos de avaliação para descartar soluções parciais. Também se poderá encontrar forma de melhorar a performance da aplicação para redes de maiores dimensões. Poderão ser aplicadas algumas técnicas avançadas de desenvolvimento de *software*, como programação paralela ou programação distribuída.

A criação de redes não é rápida usando o assistente de criação da aplicação. É necessário introduzir toda a informação do projeto, incluindo dados dos recursos e informações das

atividades, como recursos utilizados e atividades precedentes. Seria muito útil ter um método que gerasse redes válidas (já completas ou parciais) de forma automática.

Poderemos explorar a fundo a qualidade das soluções obtidas, organizando um plano de testes bem estruturado. Fica por analisar os limites da aplicabilidade da ferramenta, em termos de número de atividades, número de recursos e número de níveis alternativos de cada recurso.

Bibliografia

Alvarez-Valdes, R., Tamarit, J.M. (1989) 'Heuristic algorithms for resource- constrained project scheduling: A review and an empirical analysis', In Slowinski, R., J. Weglarz (eds) *Advances in project scheduling*, Elsevier, Amsterdam, pp. 113-134.

Basnet, C., Tang G. e Yamaguchi T. (2001) 'A Beam Search Heuristic for Multi-Mode Single Resource Constrained Project Scheduling', *36th Annual Conference of the Operational Research Society of New Zealand*, Christchurch, NZ, Nov-Dec, 1-8. Publicado nos proceedings.

Bellman, R., Dreyfus, S. (1959) 'Functional approximations and dynamic programming', *Mathematical Tables and Other Aids to Computation*, 13, 247-251.

Blazewicz, J., Lenstra, J.K. e Rinnooy Kan, A.H.G. (1983) 'Scheduling subject to resource constraints: classification and complexity', *Discrete Applied Mathematics*, 5:1, 11-24.

Boctor, F.F. (1990) 'Some efficient multi-heuristic procedures for resource constrained project scheduling' *European Journal of Operational Research*, 49, 3-13.

Boctor, F.F. (1993) 'Heuristics for scheduling projects with resource restrictions and several resource-duration modes', *International Journal of Production Research*, 31, 2547-2558.

Carmo-Silva, S. (2006) *Textos de Apoio à Disciplina de Gestão da Produção-V01-06*, Publicação Interna – Universidade do Minho.

Clark, C.E. (1962) 'The PERT Model for the Distribution of an Activity Time', *Operations Research*, 10:3, 405-406.

Davis, E.W., Patterson, J.H. (1975) 'A compararison of heuristic and optimum solutions in resource-constrained project scheduling', *Management Science*, 21:11, 944-955.

Dean, B.V., Denzler, D.R., Watkins, J.J. (1992) 'Multiproject staff scheduling with variable resource constraints', *IEEE Transactions on Engineering Management*, 39, 59-72.

Demeulemeester, E.L., Herroelen, W.S. (1996) 'An Efficient Optimal Solution Procedure for the Preemptive Resource-Constrained Scheduling Problem', *European Journal of Operational Research*, 90, 334-348.

Elmaghraby, S.E., Herroelen, W.S. (1990) 'The scheduling of activities to maximize the net present value of projects', *European Journal of Operational Research*, 49, 35-40.

Etgar, R., Shtub, A., e LeBlanc, L.J. (1997) 'Scheduling projects to maximize net present value - the case of time-dependent, contingent cash flows', *European Journal of Operational Research*, 96, 90-96.

Gonçalves, J.F., Mendes, J.J.M., Resende, M.G.C. (2004) 'A Genetic Algorithm for the Resource Constrained Multi-Project Scheduling Problem', *Technical Report TD-668LM4*, AT&T Labs Research.

Guldemon, T., Hurink, J., Paulus J., Schutten, J. (2008) 'Time-constrained project scheduling', *Journal of Scheduling*, 11: 2, 137-148.

Heilmann, R. (2000) 'Resource-constrained project scheduling: a heuristic for the multi-mode case', *OR Spektrum* 23, 335-357.

Kelley, J.E., Morgan, R., Walker (1959) 'Critical Path Planning and Scheduling', *Eastern Joint Computer Conference, Boston, December 1-3, 1959, NY 1960*, 160-173. *Publicado nos proceedings*.

Kis, T. (2005) 'A branch-and-cut algorithm for scheduling of projects with variable-intensity activities', *Mathematical Programming, Springer Berlin / Heidelberg*, 103:3, 515-539.

Klein, R. (2000) 'Bidirectional planning: improving priority rule-based heuristics for scheduling resource-constrained projects', *European Journal of Operational Research* 127, 619-638.

Kolisch, R. (1995) *Project scheduling under resource constraints - Efficient heuristics for several problem classes*, Physica, Heidelberg.

Kolisch, R. (1996) 'Efficient priority rules for the resource-constrained project scheduling problem', *Journal of Operations Management*, 14:3, 179-192.

MacCrimmon, K.R., Ryavec, C.A. (1964) 'An Analytical Study of the PERT Assumptions' *Operations Research*, 12:1, 16-37.

Mika M., Waligora G., Weglarz G. (2005) 'Simulated annealing and tabu search for multi-mode resource-constrained project scheduling with positive discounted cash flows and different payment models', *European Journal of Operational Research*, 164:3, 639-668.

Norbis, M.I., Smith, J.M. (1988) 'A multi-objective multi-level heuristic for dynamic resource-constrained scheduling problems', *European Journal of Operational Research*, 33, 30-41.

Ozdamar, L., Ulusoy, G. (1995) 'A Survey on the Resource-Constrained Project Scheduling Problem', *IIE Transactions*, 27, 574-586.

Padman, R., Dayanard, N. (1997) 'On modelling payments in projects', *Journal of the Operational Research Society*, 48, 906-918.

Pandelis, G., Ipsilandis (2007) 'Multiobjective Linear Programming Model for Scheduling Linear Repetitive Projects', *Journal of Construction Engineering and Management*, 133:6, 417-424.

Patterson, J.H., Slowinski, R., Talbot, F.B., Weglarz, J. (1989) 'An algorithm for a general class of precedence and resource constrained scheduling problems', In Slowinski, R. and Weglarz, J. (eds) *Advances in project scheduling*, Elsevier, Amsterdam, pp. 3-28.

Patterson, J.H., Slowinski, R., Talbot, F.B., Weglarz, J. (1990) 'Computational experience with a backtracking algorithm for solving a general class of precedence and resource constrained scheduling problems', *European Journal of Operational Research*, 49, 68-7.

Santos, M.A., Tereso A.P. (2010a) 'On the Multi-Mode, Multi-Skill Resource Constraint Project Scheduling Problem (MRCPSP-MS)', *2nd International Conference on Engineering Optimization (EngOpt 2010)*, Lisbon – Portugal, September 6-9. *Publicado nos proceedings*.

Santos, M.A., Tereso, A.P. (2010b) 'On the Multi-Mode, Multi-Skill Resource Constrained Project Scheduling Problem – A Software Application', *WSC15 - The 15th Online World Conference on Soft Computing in Industrial Applications WWW*, November 15-27. *Publicado nos proceedings*.

Santos, M.A., Tereso, A.P. (2011a) 'On the multi-mode, multi-skill resource constrained project scheduling problem – computational results', *ICOPEV - International Conference on Project Economic Evaluation*, Guimarães – Portugal, April 28-29. *Publicado nos proceedings*.

Santos, M.A., & Tereso, A.P. (2011b) 'On the Multi-mode, Multi-skill Resource Constrained Project Scheduling Problem - A Software Application', In A. GasparCunha, R. Takahashi, G. Schaefer & L. Costa (eds) *Soft Computing in Industrial Applications*, Vol. 96, pp. 239-248.

Sepil, C., Ortac N. (1997) 'Performance of the Heuristic Procedures for Constrained Projects with Progress Payments', *Journal of the Operational Research Society*, 48, 1123-1130.

Steiner, G.A. (1969) *Top management planning*, Macmillan, New York.

Saunders, M., Lewis, P., e Thornhill, A. (2007) *Research Methods for Business Students*, 4th Edition, Financial Times Prentice-Hall.

Tereso, A.P. (2002), *Gestão de Projetos – Alocação adaptativa de recursos em redes de atividades multimodais*, Tese de doutoramento, Universidade do Minho.

Tereso, A.P., Araújo, M.M., Elmaghraby, S.E. (2004a), 'Adaptive Resource Allocation in Multimodal Activity Networks', *International Journal of Production Economics*, 92, 1-10.

Tereso, A.P., Araújo, M.M., Elmaghraby, S.E. (2004b) 'The Optimal Resource Allocation in Stochastic Activity Networks via The Electromagnetism Approach', *Ninth International workshop on Project Management and Scheduling (PMS'04)*, Nancy-França, 26-28 Abril, 2004. Extended abstract publicado nos proceedings.

Tereso, A.P., Mota, J.R., Lameiro, R.J. (2005) 'Adaptive Resource Allocation Technique to Stochastic Multimodal Projects: a distributed platform implementation in JAVA', *Control and Cybernetics*, 35:3, 661-686.

Tereso, A.P., Costa, L., Novais R., Araújo, M.M. (2007) 'The Optimal Resource Allocation in Stochastic Activity Networks via the Evolutionary Approach: a platform implementation in Java', *International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM 2007)*, Beijing – China, May 30 – Jun 2. Publicado nos proceedings.

Tseng, C. (2008) 'Two Heuristic Algorithms for a Multi-Mode Resource-Constrained Multi-Project Scheduling Problem', *Journal of Science and Engineering Technology*, 4:2, 63-74.

Ulusoy, G., Cebelli, S. (2000) 'An equitable approach to the payment scheduling problem in project management', *European Journal of Operational Research*, 127, 262–278.

Valls, V., Pérez M.A., Quintanilla M.S. (1992) 'Heuristic performance in large resource-constrained projects', Technical Report 92-2, Department of Statistics and Operations Research, University of Valencia.

Willis, R.J. (1985) 'Critical path analysis and resource constrained project scheduling theory and practice', *European Journal of Operational Research*, 21, 149-155.

Anexos

Em anexo estão as soluções detalhadas encontradas para as várias redes analisadas. Cada solução aplicou um *beam width* (BW) e *Evaluation type* (ET) distinto à rede.

A. Rede 3 atividades

1. Resultado BFS Algorithm

Project: Rede 3 atividade (C:\redes\3ActNet.xml)

BFS Algorithm

Computation Time: 0,1193748 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 230

--> Total Project Cost: 150

--> Project Conclusion: 16

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 71

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 3 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118

| R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 12 End: 16 Duration: 4 Cost: 41

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)

2. Resultado BW: 20 ET: Cost_Duration

Project: Rede 3 atividade (C:\redes\3ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 20 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 0,1166488 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 196

--> Total Project Cost: 296

--> Project Conclusion: 29

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 18 Duration: 18 Cost: 54

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 1 (Cost: 18 Duration: 18)

Activity A3 - Start: 0 End: 22 Duration: 22 Cost: 106

| R1 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20) | R2 Level 1 (Cost: 66 Duration: 22)

Activity A2 - Start: 22 End: 29 Duration: 7 Cost: 36

| R2 Level 1 (Cost: 21 Duration: 7) | R4 Level 2 (Cost: 15 Duration: 5)

3. Resultado BW: 50 ET: Cost_Duration

Project: Rede 3 atividade (C:\redes\3ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 50 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 0,011763 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 193

--> Total Project Cost: 273

--> Project Conclusion: 28

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 18 Duration: 18 Cost: 54

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 1 (Cost: 18 Duration: 18)

Activity A3 - Start: 0 End: 20 Duration: 20 Cost: 110

| R1 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 20 End: 28 Duration: 8 Cost: 29

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8)

4. Resultado BW: 200 ET: Cost_Duration

Project: Rede 3 atividade (C:\redes\3ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 200 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 0,0417801 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 201

--> Total Project Cost: 241

--> Project Conclusion: 26

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 18 Duration: 18 Cost: 54

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 1 (Cost: 18 Duration: 18)

Activity A3 - Start: 0 End: 22 Duration: 22 Cost: 106

| R1 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20) | R2 Level 1 (Cost: 66 Duration: 22)

Activity A2 - Start: 22 End: 26 Duration: 4 Cost: 41

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)

5. Resultado BW: 450 ET: Cost_Duration

Project: Rede 3 atividade (C:\redes\3ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 450 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 0,0437483 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 205

--> Total Project Cost: 205

--> Project Conclusion: 24

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 18 Duration: 18 Cost: 54

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 1 (Cost: 18 Duration: 18)

Activity A3 - Start: 0 End: 20 Duration: 20 Cost: 110

| R1 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 20 End: 24 Duration: 4 Cost: 41

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)

6. Resultado BW: 700 ET: Cost_Duration

Project: Rede 3 atividade (C:\redes\3ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 700 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 0,0578955 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 213

--> Total Project Cost: 193

--> Project Conclusion: 22

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 18 Duration: 18 Cost: 54

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 1 (Cost: 18 Duration: 18)

Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118

| R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 18 End: 22 Duration: 4 Cost: 41

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)

7. Resultado BW: 900 ET: Cost_Duration

Project: Rede 3 atividade (C:\redes\3ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 900 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 0,0539532 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 225

--> Total Project Cost: 175

--> Project Conclusion: 19

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 71

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 3 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118

| R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 12 End: 19 Duration: 7 Cost: 36

| R2 Level 1 (Cost: 21 Duration: 7) | R4 Level 2 (Cost: 15 Duration: 5)

8. Resultado BW: 20 ET: Cost

Project: Rede 3 atividade (C:\redes\3ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 20 Evaluation type: Cost

Computation Time: 0,0077581 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 200

--> Total Project Cost: 220

--> Project Conclusion: 25

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 18 Duration: 18 Cost: 54

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 1 (Cost: 18 Duration: 18)

Activity A3 - Start: 0 End: 20 Duration: 20 Cost: 110

| R1 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 20 End: 25 Duration: 5 Cost: 36

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 2 (Cost: 15 Duration: 5)

9. Resultado BW: 50 ET: Cost

Project: Rede 3 atividade (C:\redes\3ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 50 Evaluation type: Cost

Computation Time: 0,0109927 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 205

--> Total Project Cost: 205

--> Project Conclusion: 24

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 18 Duration: 18 Cost: 54

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 1 (Cost: 18 Duration: 18)

Activity A3 - Start: 0 End: 20 Duration: 20 Cost: 110

| R1 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 20 End: 24 Duration: 4 Cost: 41

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)

10. Resultado BW: 200 ET: Cost

Project: Rede 3 atividade (C:\redes\3ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 200 Evaluation type: Cost

Computation Time: 0,0363108 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 218

--> Total Project Cost: 178

--> Project Conclusion: 20

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 71

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 3 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118

| R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 12 End: 20 Duration: 8 Cost: 29

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8)

11. Resultado BW: 450 ET: Cost

Project: Rede 3 atividade (C:\redes\3ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 450 Evaluation type: Cost

Computation Time: 0,0367714 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 230

--> Total Project Cost: 150

--> Project Conclusion: 16

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 71

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 3 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118

| R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 12 End: 16 Duration: 4 Cost: 41

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)

12. Resultado BW: 700 ET: Cost

Project: Rede 3 atividade (C:\redes\3ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 700 Evaluation type: Cost

Computation Time: 0,0408584 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 230

--> Total Project Cost: 150

--> Project Conclusion: 16

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 71

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 3 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118

| R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 12 End: 16 Duration: 4 Cost: 41

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)

13. Resultado BW: 900 ET: Cost

Project: Rede 3 atividade (C:\redes\3ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 900 Evaluation type: Cost

Computation Time: 0,0543117 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 230

--> Total Project Cost: 150

--> Project Conclusion: 16

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 71

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 3 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118

| R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 12 End: 16 Duration: 4 Cost: 41

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)

14. Resultado BW: 20 ET: Duration

Project: Rede 3 atividade (C:\redes\3ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 20 Evaluation type: Duration

Computation Time: 0,0058493 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 230

--> Total Project Cost: 150

--> Project Conclusion: 16

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 71

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 3 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118

| R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 12 End: 16 Duration: 4 Cost: 41

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)

15. Resultado BW: 50 ET: Duration

Project: Rede 3 atividade (C:\redes\3ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 50 Evaluation type: Duration

Computation Time: 0,0049955 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 230

--> Total Project Cost: 150

--> Project Conclusion: 16

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 71

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 3 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118

| R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 12 End: 16 Duration: 4 Cost: 41

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)

16. Resultado BW: 200 ET: Duration

Project: Rede 3 atividade (C:\redes\3ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 200 Evaluation type: Duration

Computation Time: 0,0404784 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 230

--> Total Project Cost: 150

--> Project Conclusion: 16

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 71

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 3 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118

| R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 12 End: 16 Duration: 4 Cost: 41

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)

17. Resultado BW: 450 ET: Duration

Project: Rede 3 atividade (C:\redes\3ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 450 Evaluation type: Duration

Computation Time: 0,0402468 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 230

--> Total Project Cost: 150

--> Project Conclusion: 16

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 71

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 3 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118

| R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 12 End: 16 Duration: 4 Cost: 41

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)

18. Resultado BW: 700 ET: Duration

Project: Rede 3 atividade (C:\redes\3ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 700 Evaluation type: Duration

Computation Time: 0,0499793 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 230

--> Total Project Cost: 150

--> Project Conclusion: 16

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 71

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 3 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118

| R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 12 End: 16 Duration: 4 Cost: 41

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)

19. Resultado BW: 900 ET: Duration

Project: Rede 3 atividade (C:\redes\3ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 900 Evaluation type: Duration

Computation Time: 0,059555 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 230

--> Total Project Cost: 150

--> Project Conclusion: 16

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 71

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 3 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118

| R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 12 End: 16 Duration: 4 Cost: 41

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)

B. Rede 5 atividades

1. Resultado BFS Algorithm

Project: Rede 5 atividades (C:\redes\5ActNet.xml)

BFS Algorithm

Computation Time: 12,3271638 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 400

--> Total Project Cost: 520

--> Project Conclusion: 36

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 71

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 3 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118

| R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A4 - Start: 12 End: 22 Duration: 10 Cost: 105

| R1 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10) | R2 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3

Level 3 (Cost: 50 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 22 End: 26 Duration: 4 Cost: 41

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A5 - Start: 26 End: 36 Duration: 10 Cost: 65

| R1 Level 2 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 3 (Cost: 25 Duration: 5)

2. Resultado BW: 50 ET: Cost_Duration

Project: Rede 5 atividades (C:\redes\5ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 50 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 0,034759 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 315

--> Total Project Cost: 1075

--> Project Conclusion: 68

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 18 Duration: 18 Cost: 54
 | R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4
 Level 1 (Cost: 18 Duration: 18)
 Activity A3 - Start: 0 End: 22 Duration: 22 Cost: 106
 | R1 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20) | R2 Level 1 (Cost: 66 Duration: 22)
 Activity A4 - Start: 22 End: 42 Duration: 20 Cost: 75
 | R1 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5) | R2 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3
 Level 1 (Cost: 20 Duration: 20)
 Activity A2 - Start: 42 End: 50 Duration: 8 Cost: 29
 | R2 Level 1 (Cost: 21 Duration: 7) | R4 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8)
 Activity A5 - Start: 50 End: 68 Duration: 18 Cost: 51
 | R1 Level 1 (Cost: 36 Duration: 18) | R3 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15)

3. Resultado BW: 500 ET: Cost_Duration

Project: Rede 5 atividades (C:\redes\5ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 500 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 0,3657872 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 319

--> Total Project Cost: 1019

--> Project Conclusion: 65

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 18 Duration: 18 Cost: 54
 | R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4
 Level 1 (Cost: 18 Duration: 18)
 Activity A3 - Start: 0 End: 22 Duration: 22 Cost: 106
 | R1 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20) | R2 Level 1 (Cost: 66 Duration: 22)
 Activity A4 - Start: 22 End: 42 Duration: 20 Cost: 75
 | R1 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10) | R2 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3
 Level 1 (Cost: 20 Duration: 20)
 Activity A2 - Start: 42 End: 50 Duration: 8 Cost: 29
 | R2 Level 1 (Cost: 21 Duration: 7) | R4 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8)
 Activity A5 - Start: 50 End: 65 Duration: 15 Cost: 55
 | R1 Level 2 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15)

4. Resultado BW: 5000 ET: Cost_Duration

Project: Rede 5 atividades (C:\redes\5ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 5000 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 3,0035141 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 329

--> Total Project Cost: 929

--> Project Conclusion: 60

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 18 Duration: 18 Cost: 54

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 1 (Cost: 18 Duration: 18)

Activity A3 - Start: 0 End: 22 Duration: 22 Cost: 106

| R1 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20) | R2 Level 1 (Cost: 66 Duration: 22)

Activity A4 - Start: 22 End: 42 Duration: 20 Cost: 75

| R1 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10) | R2 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3

Level 1 (Cost: 20 Duration: 20)

Activity A2 - Start: 42 End: 50 Duration: 8 Cost: 29

| R2 Level 1 (Cost: 21 Duration: 7) | R4 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8)

Activity A5 - Start: 50 End: 60 Duration: 10 Cost: 65

| R1 Level 2 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 3 (Cost: 25 Duration: 5)

5. Resultado BW: 10000 ET: Cost_Duration

Project: Rede 5 atividades (C:\redes\5ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 10000 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 4,8939145 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 333

--> Total Project Cost: 893

--> Project Conclusion: 58

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 18 Duration: 18 Cost: 54

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4
 Level 1 (Cost: 18 Duration: 18)
 Activity A3 - Start: 0 End: 20 Duration: 20 Cost: 110
 | R1 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)
 Activity A4 - Start: 20 End: 40 Duration: 20 Cost: 75
 | R1 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10) | R2 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3
 Level 1 (Cost: 20 Duration: 20)
 Activity A2 - Start: 40 End: 48 Duration: 8 Cost: 29
 | R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8)
 Activity A5 - Start: 48 End: 58 Duration: 10 Cost: 65
 | R1 Level 2 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 3 (Cost: 25 Duration: 5)

6. Resultado BW: 50000 ET: Cost_Duration

Project: Rede 5 atividades (C:\redes\5ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 50000 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 12,8336114 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 360

--> Total Project Cost: 780

--> Project Conclusion: 51

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 71

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4
 Level 3 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118

| R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A4 - Start: 12 End: 32 Duration: 20 Cost: 75

| R1 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5) | R2 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3
 Level 1 (Cost: 20 Duration: 20)

Activity A2 - Start: 32 End: 36 Duration: 4 Cost: 41

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A5 - Start: 36 End: 51 Duration: 15 Cost: 55

| R1 Level 2 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15)

7. Resultado BW: 100000 ET: Cost_Duration

Project: Rede 5 atividades (C:\redes\5ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 100000 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 17,4264596 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 383

--> Total Project Cost: 623

--> Project Conclusion: 42

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 18 Duration: 18 Cost: 54

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 1 (Cost: 18 Duration: 18)

Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118

| R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A4 - Start: 18 End: 28 Duration: 10 Cost: 105

| R1 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5) | R2 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3

Level 3 (Cost: 50 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 28 End: 32 Duration: 4 Cost: 41

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A5 - Start: 32 End: 42 Duration: 10 Cost: 65

| R1 Level 2 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 3 (Cost: 25 Duration: 5)

8. Resultado BW: 50 ET: Cost

Project: Rede 5 atividades (C:\redes\5ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 50 Evaluation type: Cost

Computation Time: 0,025443 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 323

--> Total Project Cost: 983

--> Project Conclusion: 63

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 18 Duration: 18 Cost: 54

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 1 (Cost: 18 Duration: 18)

Activity A3 - Start: 0 End: 20 Duration: 20 Cost: 110

| R1 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A4 - Start: 20 End: 40 Duration: 20 Cost: 75

| R1 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5) | R2 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3

Level 1 (Cost: 20 Duration: 20)

Activity A2 - Start: 40 End: 48 Duration: 8 Cost: 29

| R2 Level 1 (Cost: 21 Duration: 7) | R4 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8)

Activity A5 - Start: 48 End: 63 Duration: 15 Cost: 55

| R1 Level 2 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15)

9. Resultado BW: 500 ET: Cost

Project: Rede 5 atividades (C:\redes\5ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 500 Evaluation type: Cost

Computation Time: 0,2407986 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 333

--> Total Project Cost: 893

--> Project Conclusion: 58

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 18 Duration: 18 Cost: 54

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 1 (Cost: 18 Duration: 18)

Activity A3 - Start: 0 End: 20 Duration: 20 Cost: 110

| R1 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A4 - Start: 20 End: 40 Duration: 20 Cost: 75

| R1 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5) | R2 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3

Level 1 (Cost: 20 Duration: 20)

Activity A2 - Start: 40 End: 48 Duration: 8 Cost: 29

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8)

Activity A5 - Start: 48 End: 58 Duration: 10 Cost: 65

| R1 Level 2 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 3 (Cost: 25 Duration: 5)

10. Resultado BW: 5000 ET: Cost

Project: Rede 5 atividades (C:\redes\5ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 5000 Evaluation type: Cost

Computation Time: 2,4685494 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 353

--> Total Project Cost: 793

--> Project Conclusion: 52

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 18 Duration: 18 Cost: 54

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 1 (Cost: 18 Duration: 18)

Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118

| R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A4 - Start: 18 End: 38 Duration: 20 Cost: 75

| R1 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5) | R2 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3

Level 1 (Cost: 20 Duration: 20)

Activity A2 - Start: 38 End: 42 Duration: 4 Cost: 41

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A5 - Start: 42 End: 52 Duration: 10 Cost: 65

| R1 Level 2 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 3 (Cost: 25 Duration: 5)

11. Resultado BW: 10000 ET: Cost

Project: Rede 5 atividades (C:\redes\5ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 10000 Evaluation type: Cost

Computation Time: 4,5544185 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 363

--> Total Project Cost: 723

--> Project Conclusion: 48

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 18 Duration: 18 Cost: 54

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 1 (Cost: 18 Duration: 18)

Activity A3 - Start: 0 End: 20 Duration: 20 Cost: 110

| R1 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A4 - Start: 20 End: 30 Duration: 10 Cost: 105

| R1 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5) | R2 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3
 Level 3 (Cost: 50 Duration: 10)
 Activity A2 - Start: 30 End: 38 Duration: 8 Cost: 29
 | R2 Level 1 (Cost: 21 Duration: 7) | R4 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8)
 Activity A5 - Start: 38 End: 48 Duration: 10 Cost: 65
 | R1 Level 2 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 3 (Cost: 25 Duration: 5)

12. Resultado BW: 50000 ET: Cost

Project: Rede 5 atividades (C:\redes\5ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 50000 Evaluation type: Cost

Computation Time: 11,7061945 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 395

--> Total Project Cost: 535

--> Project Conclusion: 37

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 71

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4
 Level 3 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118

| R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A4 - Start: 12 End: 22 Duration: 10 Cost: 105

| R1 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10) | R2 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3
 Level 3 (Cost: 50 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 22 End: 27 Duration: 5 Cost: 36

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 2 (Cost: 15 Duration: 5)

Activity A5 - Start: 27 End: 37 Duration: 10 Cost: 65

| R1 Level 2 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 3 (Cost: 25 Duration: 5)

13. Resultado BW: 100000 ET: Cost

Project: Rede 5 atividades (C:\redes\5ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 100000 Evaluation type: Cost

Computation Time: 17,0640924 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 400
 --> Total Project Cost: 520
 --> Project Conclusion: 36
 --> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 71
 | R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4
 Level 3 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118
 | R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A4 - Start: 12 End: 22 Duration: 10 Cost: 105
 | R1 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10) | R2 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3
 Level 3 (Cost: 50 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 22 End: 26 Duration: 4 Cost: 41
 | R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A5 - Start: 26 End: 36 Duration: 10 Cost: 65
 | R1 Level 2 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 3 (Cost: 25 Duration: 5)

14. Resultado BW: 50 ET: Duration

Project: Rede 5 atividades (C:\redes\5ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 50 Evaluation type: Duration

Computation Time: 0,0264829 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 400
 --> Total Project Cost: 520
 --> Project Conclusion: 36
 --> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 71
 | R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4
 Level 3 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118
 | R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A4 - Start: 12 End: 22 Duration: 10 Cost: 105
 | R1 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5) | R2 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3
 Level 3 (Cost: 50 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 22 End: 26 Duration: 4 Cost: 41
 | R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A5 - Start: 26 End: 36 Duration: 10 Cost: 65

| R1 Level 2 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 3 (Cost: 25 Duration: 5)

15. Resultado BW: 500 ET: Duration

Project: Rede 5 atividades (C:\redes\5ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 500 Evaluation type: Duration

Computation Time: 0,2822382 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 400

--> Total Project Cost: 520

--> Project Conclusion: 36

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 71

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 3 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118

| R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A4 - Start: 12 End: 22 Duration: 10 Cost: 105

| R1 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10) | R2 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3

Level 3 (Cost: 50 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 22 End: 26 Duration: 4 Cost: 41

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A5 - Start: 26 End: 36 Duration: 10 Cost: 65

| R1 Level 2 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 3 (Cost: 25 Duration: 5)

16. Resultado BW: 5000 ET: Duration

Project: Rede 5 atividades (C:\redes\5ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 5000 Evaluation type: Duration

Computation Time: 2,8090012 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 400

--> Total Project Cost: 520

--> Project Conclusion: 36

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 71
 | R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4
 Level 3 (Cost: 35 Duration: 7)
 Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118
 | R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)
 Activity A4 - Start: 12 End: 22 Duration: 10 Cost: 105
 | R1 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10) | R2 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3
 Level 3 (Cost: 50 Duration: 10)
 Activity A2 - Start: 22 End: 26 Duration: 4 Cost: 41
 | R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)
 Activity A5 - Start: 26 End: 36 Duration: 10 Cost: 65
 | R1 Level 2 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 3 (Cost: 25 Duration: 5)

17. Resultado BW: 10000 ET: Duration

Project: Rede 5 atividades (C:\redes\5ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 10000 Evaluation type: Duration

Computation Time: 5,1317167 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 400

--> Total Project Cost: 520

--> Project Conclusion: 36

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 71
 | R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4
 Level 3 (Cost: 35 Duration: 7)
 Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118
 | R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)
 Activity A4 - Start: 12 End: 22 Duration: 10 Cost: 105
 | R1 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10) | R2 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3
 Level 3 (Cost: 50 Duration: 10)
 Activity A2 - Start: 22 End: 26 Duration: 4 Cost: 41
 | R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)
 Activity A5 - Start: 26 End: 36 Duration: 10 Cost: 65
 | R1 Level 2 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 3 (Cost: 25 Duration: 5)

18. Resultado BW: 50000 ET: Duration

Project: Rede 5 atividades (C:\redes\5ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 50000 Evaluation type: Duration

Computation Time: 13,5915462 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 400

--> Total Project Cost: 520

--> Project Conclusion: 36

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 71

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 3 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118

| R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A4 - Start: 12 End: 22 Duration: 10 Cost: 105

| R1 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5) | R2 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3

Level 3 (Cost: 50 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 22 End: 26 Duration: 4 Cost: 41

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A5 - Start: 26 End: 36 Duration: 10 Cost: 65

| R1 Level 2 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 3 (Cost: 25 Duration: 5)

19. Resultado BW: 100000 ET: Duration

Project: Rede 5 atividades (C:\redes\5ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 100000 Evaluation type: Duration

Computation Time: 18,2259961 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 400

--> Total Project Cost: 520

--> Project Conclusion: 36

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 71

| R1 Level 2 (Cost: 24 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 12) | R4

Level 3 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 118

| R1 Level 2 (Cost: 48 Duration: 12) | R2 Level 3 (Cost: 70 Duration: 10)

Activity A4 - Start: 12 End: 22 Duration: 10 Cost: 105

| R1 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5) | R2 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3

Level 3 (Cost: 50 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 22 End: 26 Duration: 4 Cost: 41

| R2 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A5 - Start: 26 End: 36 Duration: 10 Cost: 65

| R1 Level 2 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 3 (Cost: 25 Duration: 5)

C. Rede 10 atividades

1. Resultado BW: 50 ET: Cost_Duration

Project: rede 10 Atividades (C:\redes\10ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 50 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 0,1610077 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 456

--> Total Project Cost: 796

--> Project Conclusion: 47

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 13 Duration: 13 Cost: 63

| R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4

Level 1 (Cost: 10 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 0 End: 12 Duration: 12 Cost: 54

| R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R5 Level 1 (Cost: 36 Duration: 12)

Activity A3 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A4 - Start: 9 End: 21 Duration: 12 Cost: 29

| R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12) | R4 Level 1 (Cost: 5 Duration: 5)

Activity A6 - Start: 12 End: 25 Duration: 13 Cost: 59

| R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4

Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A7 - Start: 13 End: 20 Duration: 7 Cost: 22

| R3 Level 2 (Cost: 15 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 7 Duration: 7)
 Activity A5 - Start: 21 End: 35 Duration: 14 Cost: 62
 | R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R5 Level 1 (Cost: 42 Duration: 14)
 Activity A9 - Start: 25 End: 33 Duration: 8 Cost: 40
 | R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R4 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8) | R5
 Level 2 (Cost: 12 Duration: 3)
 Activity A10 - Start: 33 End: 47 Duration: 14 Cost: 32
 | R2 Level 1 (Cost: 28 Duration: 14) | R5 Level 2 (Cost: 4 Duration: 1)
 Activity A8 - Start: 35 End: 44 Duration: 9 Cost: 57
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R5
 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

2. Resultado BW: 500 ET: Cost_Duration

Project: rede 10 Atividades (C:\redes\10ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 500 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 2,9366867 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 444

--> Total Project Cost: 744

--> Project Conclusion: 45

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 13 Duration: 13 Cost: 63

| R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4
 Level 1 (Cost: 10 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R5 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A3 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A4 - Start: 9 End: 21 Duration: 12 Cost: 29

| R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12) | R4 Level 1 (Cost: 5 Duration: 5)

Activity A6 - Start: 9 End: 23 Duration: 14 Cost: 63

| R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R2 Level 1 (Cost: 28 Duration: 14) | R4
 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A7 - Start: 13 End: 20 Duration: 7 Cost: 22

| R3 Level 2 (Cost: 15 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 7 Duration: 7)

Activity A5 - Start: 21 End: 35 Duration: 14 Cost: 62

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R5 Level 1 (Cost: 42 Duration: 14)
 Activity A9 - Start: 23 End: 31 Duration: 8 Cost: 40
 | R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R4 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8) | R5
 Level 2 (Cost: 12 Duration: 3)
 Activity A10 - Start: 31 End: 45 Duration: 14 Cost: 32
 | R2 Level 1 (Cost: 28 Duration: 14) | R5 Level 2 (Cost: 4 Duration: 1)
 Activity A8 - Start: 35 End: 44 Duration: 9 Cost: 57
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R5
 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

3. Resultado BW: 1000 ET: Cost_Duration

Project: rede 10 Atividades (C:\redes\10ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 1000 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 4,5163612 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 444

--> Total Project Cost: 744

--> Project Conclusion: 45

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 13 Duration: 13 Cost: 63

| R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4
 Level 1 (Cost: 10 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R5 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A3 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A4 - Start: 9 End: 21 Duration: 12 Cost: 29

| R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12) | R4 Level 1 (Cost: 5 Duration: 5)

Activity A6 - Start: 9 End: 23 Duration: 14 Cost: 63

| R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R2 Level 1 (Cost: 28 Duration: 14) | R4
 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A7 - Start: 13 End: 20 Duration: 7 Cost: 22

| R3 Level 2 (Cost: 15 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 7 Duration: 7)

Activity A5 - Start: 21 End: 35 Duration: 14 Cost: 62

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R5 Level 1 (Cost: 42 Duration: 14)

Activity A9 - Start: 23 End: 31 Duration: 8 Cost: 40

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R4 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8) | R5
 Level 2 (Cost: 12 Duration: 3)
 Activity A10 - Start: 31 End: 45 Duration: 14 Cost: 32
 | R2 Level 1 (Cost: 28 Duration: 14) | R5 Level 2 (Cost: 4 Duration: 1)
 Activity A8 - Start: 35 End: 44 Duration: 9 Cost: 57
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R5
 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

4. Resultado BW: 5000 ET: Cost_Duration

Project: rede 10 Atividades (C:\redes\10ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 5000 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 19,5232447 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 447

--> Total Project Cost: 727

--> Project Conclusion: 44

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 13 Duration: 13 Cost: 63

| R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4
 Level 1 (Cost: 10 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R5 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A3 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A4 - Start: 9 End: 21 Duration: 12 Cost: 29

| R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12) | R4 Level 1 (Cost: 5 Duration: 5)

Activity A6 - Start: 9 End: 23 Duration: 14 Cost: 63

| R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R2 Level 1 (Cost: 28 Duration: 14) | R4
 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A7 - Start: 13 End: 20 Duration: 7 Cost: 22

| R3 Level 2 (Cost: 15 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 7 Duration: 7)

Activity A5 - Start: 21 End: 35 Duration: 14 Cost: 62

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R5 Level 1 (Cost: 42 Duration: 14)

Activity A9 - Start: 23 End: 28 Duration: 5 Cost: 43

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2) | R5
 Level 1 (Cost: 15 Duration: 5)

Activity A10 - Start: 28 End: 42 Duration: 14 Cost: 32

| R2 Level 1 (Cost: 28 Duration: 14) | R5 Level 2 (Cost: 4 Duration: 1)

Activity A8 - Start: 35 End: 44 Duration: 9 Cost: 57

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R5

Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

5. Resultado BW: 10000 ET: Cost_Duration

Project: rede 10 Atividades (C:\redes\10ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 10000 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 38,7728376 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 440

--> Total Project Cost: 720

--> Project Conclusion: 44

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 13 Duration: 13 Cost: 63

| R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4

Level 1 (Cost: 10 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R5 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A3 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A4 - Start: 9 End: 21 Duration: 12 Cost: 29

| R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12) | R4 Level 1 (Cost: 5 Duration: 5)

Activity A6 - Start: 9 End: 22 Duration: 13 Cost: 59

| R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4

Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A7 - Start: 13 End: 20 Duration: 7 Cost: 22

| R3 Level 2 (Cost: 15 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 7 Duration: 7)

Activity A5 - Start: 21 End: 35 Duration: 14 Cost: 62

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R5 Level 1 (Cost: 42 Duration: 14)

Activity A9 - Start: 22 End: 30 Duration: 8 Cost: 40

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R4 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8) | R5

Level 2 (Cost: 12 Duration: 3)

Activity A10 - Start: 30 End: 44 Duration: 14 Cost: 32

| R2 Level 1 (Cost: 28 Duration: 14) | R5 Level 2 (Cost: 4 Duration: 1)

Activity A8 - Start: 35 End: 44 Duration: 9 Cost: 57
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R5
 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

6. Resultado BW: 50000 ET: Cost_Duration

Project: rede 10 Atividades (C:\redes\10ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 50000 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 355,5423289 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 451

--> Total Project Cost: 691

--> Project Conclusion: 42

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 13 Duration: 13 Cost: 63
 | R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4
 Level 1 (Cost: 10 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38
 | R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R5 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A3 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38
 | R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A4 - Start: 9 End: 21 Duration: 12 Cost: 29
 | R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12) | R4 Level 1 (Cost: 5 Duration: 5)

Activity A6 - Start: 9 End: 22 Duration: 13 Cost: 59
 | R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4
 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A7 - Start: 13 End: 20 Duration: 7 Cost: 22
 | R3 Level 2 (Cost: 15 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 7 Duration: 7)

Activity A5 - Start: 21 End: 35 Duration: 14 Cost: 62
 | R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R5 Level 1 (Cost: 42 Duration: 14)

Activity A9 - Start: 22 End: 27 Duration: 5 Cost: 43
 | R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2) | R5
 Level 1 (Cost: 15 Duration: 5)

Activity A10 - Start: 27 End: 41 Duration: 14 Cost: 32
 | R2 Level 1 (Cost: 28 Duration: 14) | R5 Level 2 (Cost: 4 Duration: 1)

Activity A8 - Start: 35 End: 42 Duration: 7 Cost: 65

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7) | R5
Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

7. Resultado BW: 50 ET: Cost

Project: rede 10 Atividades (C:\redes\10ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 50 Evaluation type: Cost

Computation Time: 0,2171079 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 406

--> Total Project Cost: 391

--> Project Conclusion: 29

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 13 Duration: 13 Cost: 63

| R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4
Level 1 (Cost: 10 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R5 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A3 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A4 - Start: 9 End: 12 Duration: 3 Cost: 32

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2)

Activity A6 - Start: 9 End: 22 Duration: 13 Cost: 59

| R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4
Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A5 - Start: 13 End: 20 Duration: 7 Cost: 29

| R3 Level 1 (Cost: 21 Duration: 7) | R5 Level 2 (Cost: 8 Duration: 2)

Activity A7 - Start: 13 End: 20 Duration: 7 Cost: 22

| R3 Level 2 (Cost: 15 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 7 Duration: 7)

Activity A8 - Start: 20 End: 29 Duration: 9 Cost: 57

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R5
Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A9 - Start: 22 End: 26 Duration: 4 Cost: 40

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2) | R5
Level 2 (Cost: 12 Duration: 3)

Activity A10 - Start: 26 End: 29 Duration: 3 Cost: 28

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R5 Level 2 (Cost: 4 Duration: 1)

8. Resultado BW: 500 ET: Cost

Project: rede 10 Atividades (C:\redes\10ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 500 Evaluation type: Cost

Computation Time: 3,183054 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 406

--> Total Project Cost: 391

--> Project Conclusion: 29

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 13 Duration: 13 Cost: 63

| R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4

Level 1 (Cost: 10 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R5 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A3 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A4 - Start: 9 End: 12 Duration: 3 Cost: 32

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2)

Activity A6 - Start: 9 End: 22 Duration: 13 Cost: 59

| R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4

Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A5 - Start: 13 End: 20 Duration: 7 Cost: 29

| R3 Level 1 (Cost: 21 Duration: 7) | R5 Level 2 (Cost: 8 Duration: 2)

Activity A7 - Start: 13 End: 20 Duration: 7 Cost: 22

| R3 Level 2 (Cost: 15 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 7 Duration: 7)

Activity A8 - Start: 20 End: 29 Duration: 9 Cost: 57

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R5

Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A9 - Start: 22 End: 26 Duration: 4 Cost: 40

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2) | R5

Level 2 (Cost: 12 Duration: 3)

Activity A10 - Start: 26 End: 29 Duration: 3 Cost: 28

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R5 Level 2 (Cost: 4 Duration: 1)

9. Resultado BW: 1000 ET: Cost

Project: rede 10 Atividades (C:\redes\10ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 1000 Evaluation type: Cost

Computation Time: 4,1995913 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 406

--> Total Project Cost: 391

--> Project Conclusion: 29

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 13 Duration: 13 Cost: 63

| R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4

Level 1 (Cost: 10 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R5 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A3 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A4 - Start: 9 End: 12 Duration: 3 Cost: 32

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2)

Activity A6 - Start: 9 End: 22 Duration: 13 Cost: 59

| R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4

Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A5 - Start: 13 End: 20 Duration: 7 Cost: 29

| R3 Level 1 (Cost: 21 Duration: 7) | R5 Level 2 (Cost: 8 Duration: 2)

Activity A7 - Start: 13 End: 20 Duration: 7 Cost: 22

| R3 Level 2 (Cost: 15 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 7 Duration: 7)

Activity A8 - Start: 20 End: 29 Duration: 9 Cost: 57

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R5

Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A9 - Start: 22 End: 26 Duration: 4 Cost: 40

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2) | R5

Level 2 (Cost: 12 Duration: 3)

Activity A10 - Start: 26 End: 29 Duration: 3 Cost: 28

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R5 Level 2 (Cost: 4 Duration: 1)

10. Resultado BW: 5000 ET: Cost

Project: rede 10 Atividades (C:\redes\10ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 5000 Evaluation type: Cost

Computation Time: 17,2584783 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 417

--> Total Project Cost: 372

--> Project Conclusion: 27

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 13 Duration: 13 Cost: 63

| R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4

Level 1 (Cost: 10 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 0 End: 7 Duration: 7 Cost: 41

| R2 Level 2 (Cost: 21 Duration: 7) | R5 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A3 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A6 - Start: 7 End: 20 Duration: 13 Cost: 59

| R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4

Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A4 - Start: 9 End: 12 Duration: 3 Cost: 32

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2)

Activity A5 - Start: 13 End: 20 Duration: 7 Cost: 29

| R3 Level 1 (Cost: 21 Duration: 7) | R5 Level 2 (Cost: 8 Duration: 2)

Activity A7 - Start: 13 End: 20 Duration: 7 Cost: 22

| R3 Level 2 (Cost: 15 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 7 Duration: 7)

Activity A8 - Start: 20 End: 27 Duration: 7 Cost: 65

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7) | R5

Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A9 - Start: 20 End: 24 Duration: 4 Cost: 40

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2) | R5

Level 2 (Cost: 12 Duration: 3)

Activity A10 - Start: 24 End: 27 Duration: 3 Cost: 28

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R5 Level 2 (Cost: 4 Duration: 1)

11. Resultado BW: 10000 ET: Cost

Project: rede 10 Atividades (C:\redes\10ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 10000 Evaluation type: Cost

Computation Time: 40,5046088 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 417

--> Total Project Cost: 372

--> Project Conclusion: 27

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 13 Duration: 13 Cost: 63

| R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4

Level 1 (Cost: 10 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 0 End: 7 Duration: 7 Cost: 41

| R2 Level 2 (Cost: 21 Duration: 7) | R5 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A3 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A6 - Start: 7 End: 20 Duration: 13 Cost: 59

| R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4

Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A4 - Start: 9 End: 12 Duration: 3 Cost: 32

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2)

Activity A5 - Start: 13 End: 20 Duration: 7 Cost: 29

| R3 Level 1 (Cost: 21 Duration: 7) | R5 Level 2 (Cost: 8 Duration: 2)

Activity A7 - Start: 13 End: 20 Duration: 7 Cost: 22

| R3 Level 2 (Cost: 15 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 7 Duration: 7)

Activity A8 - Start: 20 End: 27 Duration: 7 Cost: 65

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7) | R5

Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A9 - Start: 20 End: 24 Duration: 4 Cost: 40

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2) | R5

Level 2 (Cost: 12 Duration: 3)

Activity A10 - Start: 24 End: 27 Duration: 3 Cost: 28

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R5 Level 2 (Cost: 4 Duration: 1)

12. Resultado BW: 50000 ET: Cost

Project: rede 10 Atividades (C:\redes\10ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 50000 Evaluation type: Cost

Computation Time: 723,3650978 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 405

--> Total Project Cost: 360

--> Project Conclusion: 27

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 13 Duration: 13 Cost: 63

| R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4

Level 1 (Cost: 10 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 0 End: 7 Duration: 7 Cost: 41

| R2 Level 2 (Cost: 21 Duration: 7) | R5 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A3 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A6 - Start: 7 End: 20 Duration: 13 Cost: 59

| R1 Level 1 (Cost: 26 Duration: 13) | R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4

Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A4 - Start: 9 End: 14 Duration: 5 Cost: 29

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 5 Duration: 5)

Activity A7 - Start: 13 End: 20 Duration: 7 Cost: 22

| R3 Level 2 (Cost: 15 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 7 Duration: 7)

Activity A5 - Start: 14 End: 18 Duration: 4 Cost: 28

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R5 Level 2 (Cost: 8 Duration: 2)

Activity A8 - Start: 18 End: 27 Duration: 9 Cost: 57

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R5

Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A9 - Start: 20 End: 24 Duration: 4 Cost: 40

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2) | R5

Level 2 (Cost: 12 Duration: 3)

Activity A10 - Start: 24 End: 27 Duration: 3 Cost: 28

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R5 Level 2 (Cost: 4 Duration: 1)

13. Resultado BW: 50 ET: Duration

Project: rede 10 Atividades (C:\redes\10ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 50 Evaluation type: Duration

Computation Time: 0,2091503 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 468

--> Total Project Cost: 408

--> Project Conclusion: 26

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 84

| R1 Level 2 (Cost: 42 Duration: 7) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4

Level 2 (Cost: 15 Duration: 5)

Activity A2 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R5 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A3 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A4 - Start: 9 End: 12 Duration: 3 Cost: 32

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2)

Activity A6 - Start: 9 End: 19 Duration: 10 Cost: 93

| R1 Level 2 (Cost: 60 Duration: 10) | R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4

Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A7 - Start: 9 End: 16 Duration: 7 Cost: 22

| R3 Level 2 (Cost: 15 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 7 Duration: 7)

Activity A5 - Start: 12 End: 16 Duration: 4 Cost: 28

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R5 Level 2 (Cost: 8 Duration: 2)

Activity A8 - Start: 16 End: 23 Duration: 7 Cost: 65

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7) | R5

Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A9 - Start: 19 End: 23 Duration: 4 Cost: 40

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2) | R5

Level 2 (Cost: 12 Duration: 3)

Activity A10 - Start: 23 End: 26 Duration: 3 Cost: 28

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R5 Level 2 (Cost: 4 Duration: 1)

14. Resultado BW: 500 ET: Duration

Project: rede 10 Atividades (C:\redes\10ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 500 Evaluation type: Duration

Computation Time: 4,0138289 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 468

--> Total Project Cost: 408

--> Project Conclusion: 26

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 84

| R1 Level 2 (Cost: 42 Duration: 7) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4

Level 2 (Cost: 15 Duration: 5)

Activity A2 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R5 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A3 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A4 - Start: 9 End: 12 Duration: 3 Cost: 32

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2)

Activity A6 - Start: 9 End: 19 Duration: 10 Cost: 93

| R1 Level 2 (Cost: 60 Duration: 10) | R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4

Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A7 - Start: 9 End: 16 Duration: 7 Cost: 22

| R3 Level 2 (Cost: 15 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 7 Duration: 7)

Activity A5 - Start: 12 End: 16 Duration: 4 Cost: 28

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R5 Level 2 (Cost: 8 Duration: 2)

Activity A8 - Start: 16 End: 23 Duration: 7 Cost: 65

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7) | R5

Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A9 - Start: 19 End: 23 Duration: 4 Cost: 40

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2) | R5

Level 2 (Cost: 12 Duration: 3)

Activity A10 - Start: 23 End: 26 Duration: 3 Cost: 28

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R5 Level 2 (Cost: 4 Duration: 1)

15. Resultado BW: 1000 ET: Duration

Project: rede 10 Atividades (C:\redes\10ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 1000 Evaluation type: Duration

Computation Time: 6,6664118 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 468

--> Total Project Cost: 408

--> Project Conclusion: 26

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 84

| R1 Level 2 (Cost: 42 Duration: 7) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4

Level 2 (Cost: 15 Duration: 5)

Activity A2 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R5 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A3 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A4 - Start: 9 End: 12 Duration: 3 Cost: 32

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2)

Activity A6 - Start: 9 End: 19 Duration: 10 Cost: 93

| R1 Level 2 (Cost: 60 Duration: 10) | R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4

Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A7 - Start: 9 End: 16 Duration: 7 Cost: 22

| R3 Level 2 (Cost: 15 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 7 Duration: 7)

Activity A5 - Start: 12 End: 16 Duration: 4 Cost: 28

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R5 Level 2 (Cost: 8 Duration: 2)

Activity A8 - Start: 16 End: 23 Duration: 7 Cost: 65

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7) | R5

Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A9 - Start: 19 End: 23 Duration: 4 Cost: 40

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2) | R5

Level 2 (Cost: 12 Duration: 3)

Activity A10 - Start: 23 End: 26 Duration: 3 Cost: 28

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R5 Level 2 (Cost: 4 Duration: 1)

16. Resultado BW: 5000 ET: Duration

Project: rede 10 Atividades (C:\redes\10ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 5000 Evaluation type: Duration

Computation Time: 31,3824394 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 490

--> Total Project Cost: 400

--> Project Conclusion: 24

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 79

| R1 Level 2 (Cost: 42 Duration: 7) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4

Level 1 (Cost: 10 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 0 End: 7 Duration: 7 Cost: 41

| R2 Level 2 (Cost: 21 Duration: 7) | R5 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A3 - Start: 0 End: 7 Duration: 7 Cost: 62

| R1 Level 2 (Cost: 42 Duration: 7) | R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A4 - Start: 7 End: 10 Duration: 3 Cost: 32

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2)

Activity A6 - Start: 7 End: 17 Duration: 10 Cost: 93

| R1 Level 2 (Cost: 60 Duration: 10) | R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4

Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A5 - Start: 10 End: 14 Duration: 4 Cost: 28

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R5 Level 2 (Cost: 8 Duration: 2)

Activity A7 - Start: 10 End: 17 Duration: 7 Cost: 22

| R3 Level 2 (Cost: 15 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 7 Duration: 7)

Activity A8 - Start: 14 End: 21 Duration: 7 Cost: 65

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7) | R5

Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A9 - Start: 17 End: 21 Duration: 4 Cost: 40

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2) | R5

Level 2 (Cost: 12 Duration: 3)

Activity A10 - Start: 21 End: 24 Duration: 3 Cost: 28

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R5 Level 2 (Cost: 4 Duration: 1)

17. Resultado BW: 10000 ET: Duration

Project: rede 10 Atividades (C:\redes\10ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 10000 Evaluation type: Duration

Computation Time: 50,8883721 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 490

--> Total Project Cost: 400

--> Project Conclusion: 24

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 79

| R1 Level 2 (Cost: 42 Duration: 7) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4

Level 1 (Cost: 10 Duration: 10)

Activity A2 - Start: 0 End: 7 Duration: 7 Cost: 41

| R2 Level 2 (Cost: 21 Duration: 7) | R5 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A3 - Start: 0 End: 7 Duration: 7 Cost: 62

| R1 Level 2 (Cost: 42 Duration: 7) | R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A4 - Start: 7 End: 10 Duration: 3 Cost: 32

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2)

Activity A6 - Start: 7 End: 17 Duration: 10 Cost: 93

| R1 Level 2 (Cost: 60 Duration: 10) | R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4

Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A5 - Start: 10 End: 14 Duration: 4 Cost: 28

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R5 Level 2 (Cost: 8 Duration: 2)

Activity A7 - Start: 10 End: 17 Duration: 7 Cost: 22

| R3 Level 2 (Cost: 15 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 7 Duration: 7)

Activity A8 - Start: 14 End: 21 Duration: 7 Cost: 65

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7) | R5

Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A9 - Start: 17 End: 21 Duration: 4 Cost: 40

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2) | R5

Level 2 (Cost: 12 Duration: 3)

Activity A10 - Start: 21 End: 24 Duration: 3 Cost: 28

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R5 Level 2 (Cost: 4 Duration: 1)

18. Resultado BW: 50000 ET: Duration

Project: rede 10 Atividades (C:\redes\10ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 50000 Evaluation type: Duration

Computation Time: 635,2802023 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 480

--> Total Project Cost: 375

--> Project Conclusion: 23

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 84

| R1 Level 2 (Cost: 42 Duration: 7) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4

Level 2 (Cost: 15 Duration: 5)

Activity A2 - Start: 0 End: 6 Duration: 6 Cost: 50

| R2 Level 3 (Cost: 30 Duration: 6) | R5 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A3 - Start: 0 End: 9 Duration: 9 Cost: 38

| R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4)

Activity A6 - Start: 6 End: 16 Duration: 10 Cost: 93

| R1 Level 2 (Cost: 60 Duration: 10) | R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4

Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A4 - Start: 9 End: 12 Duration: 3 Cost: 32

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2)

Activity A7 - Start: 9 End: 16 Duration: 7 Cost: 22

| R3 Level 2 (Cost: 15 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 7 Duration: 7)

Activity A5 - Start: 12 End: 16 Duration: 4 Cost: 28

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R5 Level 2 (Cost: 8 Duration: 2)

Activity A8 - Start: 16 End: 23 Duration: 7 Cost: 65

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7) | R5

Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A9 - Start: 16 End: 20 Duration: 4 Cost: 40

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 4) | R4 Level 3 (Cost: 8 Duration: 2) | R5

Level 2 (Cost: 12 Duration: 3)

Activity A10 - Start: 20 End: 23 Duration: 3 Cost: 28

| R2 Level 5 (Cost: 24 Duration: 3) | R5 Level 2 (Cost: 4 Duration: 1)

D. Rede 20 atividades

1. Resultado BW: 50 ET: Cost_Duration

Project: rede 20 atividades (C:\redes\20ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 50 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 1,3403016 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 846

--> Total Project Cost: 2146

--> Project Conclusion: 135

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 14 Duration: 14 Cost: 52

| R1 Level 1 (Cost: 28 Duration: 14) | R3 Level 1 (Cost: 24 Duration: 8)

Activity A2 - Start: 0 End: 20 Duration: 20 Cost: 49

| R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20)

Activity A5 - Start: 0 End: 15 Duration: 15 Cost: 36

| R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15)

Activity A3 - Start: 20 End: 29 Duration: 9 Cost: 33

| R3 Level 1 (Cost: 15 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A4 - Start: 20 End: 36 Duration: 16 Cost: 25

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 16) | R3 Level 3 (Cost: 9 Duration: 1)

Activity A6 - Start: 29 End: 38 Duration: 9 Cost: 35

| R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9)

Activity A7 - Start: 36 End: 50 Duration: 14 Cost: 64

| R1 Level 1 (Cost: 22 Duration: 11) | R3 Level 1 (Cost: 42 Duration: 14)

Activity A8 - Start: 36 End: 55 Duration: 19 Cost: 74

| R3 Level 1 (Cost: 36 Duration: 12) | R4 Level 1 (Cost: 38 Duration: 19)

Activity A9 - Start: 38 End: 47 Duration: 9 Cost: 30

| R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A15 - Start: 38 End: 54 Duration: 16 Cost: 32

| R1 Level 1 (Cost: 32 Duration: 16)

Activity A13 - Start: 47 End: 57 Duration: 10 Cost: 28

| R2 Level 1 (Cost: 10 Duration: 10) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A10 - Start: 50 End: 67 Duration: 17 Cost: 52

| R1 Level 1 (Cost: 34 Duration: 17) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A17 - Start: 57 End: 69 Duration: 12 Cost: 51
 | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12)

Activity A11 - Start: 67 End: 76 Duration: 9 Cost: 34
 | R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A12 - Start: 67 End: 85 Duration: 18 Cost: 57
 | R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 18) | R3 Level 1 (Cost: 39 Duration: 13)

Activity A14 - Start: 76 End: 91 Duration: 15 Cost: 33
 | R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A18 - Start: 85 End: 100 Duration: 15 Cost: 69
 | R1 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 45 Duration: 15)

Activity A16 - Start: 91 End: 105 Duration: 14 Cost: 14
 | R2 Level 1 (Cost: 14 Duration: 14)

Activity A19 - Start: 105 End: 118 Duration: 13 Cost: 27
 | R2 Level 1 (Cost: 13 Duration: 13) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A20 - Start: 118 End: 135 Duration: 17 Cost: 51
 | R3 Level 1 (Cost: 51 Duration: 17)

2. Resultado BW: 500 ET: Cost_Duration

Project: rede 20 atividades (C:\redes\20ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 500 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 4,3400095 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 865

--> Total Project Cost: 2045

--> Project Conclusion: 129

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 14 Duration: 14 Cost: 52
 | R1 Level 1 (Cost: 28 Duration: 14) | R3 Level 1 (Cost: 24 Duration: 8)

Activity A2 - Start: 0 End: 20 Duration: 20 Cost: 49
 | R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20)

Activity A5 - Start: 0 End: 15 Duration: 15 Cost: 36
 | R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15)

Activity A3 - Start: 20 End: 29 Duration: 9 Cost: 33
 | R3 Level 1 (Cost: 15 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A4 - Start: 20 End: 36 Duration: 16 Cost: 25
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 16) | R3 Level 3 (Cost: 9 Duration: 1)

Activity A6 - Start: 29 End: 38 Duration: 9 Cost: 35
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9)

Activity A7 - Start: 36 End: 50 Duration: 14 Cost: 64
 | R1 Level 1 (Cost: 22 Duration: 11) | R3 Level 1 (Cost: 42 Duration: 14)

Activity A8 - Start: 36 End: 55 Duration: 19 Cost: 74
 | R3 Level 1 (Cost: 36 Duration: 12) | R4 Level 1 (Cost: 38 Duration: 19)

Activity A9 - Start: 38 End: 49 Duration: 11 Cost: 31
 | R1 Level 1 (Cost: 22 Duration: 11) | R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A15 - Start: 38 End: 54 Duration: 16 Cost: 32
 | R1 Level 1 (Cost: 32 Duration: 16)

Activity A13 - Start: 49 End: 59 Duration: 10 Cost: 28
 | R2 Level 1 (Cost: 10 Duration: 10) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A10 - Start: 50 End: 67 Duration: 17 Cost: 52
 | R1 Level 1 (Cost: 34 Duration: 17) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A17 - Start: 59 End: 71 Duration: 12 Cost: 51
 | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12)

Activity A11 - Start: 67 End: 76 Duration: 9 Cost: 34
 | R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A12 - Start: 67 End: 85 Duration: 18 Cost: 57
 | R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 18) | R3 Level 1 (Cost: 39 Duration: 13)

Activity A14 - Start: 76 End: 91 Duration: 15 Cost: 33
 | R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A18 - Start: 85 End: 100 Duration: 15 Cost: 69
 | R1 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 45 Duration: 15)

Activity A16 - Start: 91 End: 99 Duration: 8 Cost: 32
 | R2 Level 2 (Cost: 32 Duration: 8)

Activity A19 - Start: 99 End: 112 Duration: 13 Cost: 27
 | R2 Level 1 (Cost: 13 Duration: 13) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A20 - Start: 112 End: 129 Duration: 17 Cost: 51
 | R3 Level 1 (Cost: 51 Duration: 17)

3. Resultado BW: 1000 ET: Cost_Duration

Project: rede 20 atividades (C:\redes\20ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 1000 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 13,7288918 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 865

--> Total Project Cost: 2045

--> Project Conclusion: 129

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 8 Duration: 8 Cost: 52

| R1 Level 3 (Cost: 28 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 24 Duration: 8)

Activity A2 - Start: 0 End: 20 Duration: 20 Cost: 49

| R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20)

Activity A5 - Start: 0 End: 15 Duration: 15 Cost: 36

| R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15)

Activity A3 - Start: 20 End: 29 Duration: 9 Cost: 33

| R3 Level 1 (Cost: 15 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A4 - Start: 20 End: 36 Duration: 16 Cost: 25

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 16) | R3 Level 3 (Cost: 9 Duration: 1)

Activity A6 - Start: 29 End: 38 Duration: 9 Cost: 35

| R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9)

Activity A7 - Start: 36 End: 50 Duration: 14 Cost: 64

| R1 Level 1 (Cost: 22 Duration: 11) | R3 Level 1 (Cost: 42 Duration: 14)

Activity A8 - Start: 36 End: 55 Duration: 19 Cost: 74

| R3 Level 1 (Cost: 36 Duration: 12) | R4 Level 1 (Cost: 38 Duration: 19)

Activity A9 - Start: 38 End: 49 Duration: 11 Cost: 31

| R1 Level 1 (Cost: 22 Duration: 11) | R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A15 - Start: 38 End: 54 Duration: 16 Cost: 32

| R1 Level 1 (Cost: 32 Duration: 16)

Activity A13 - Start: 49 End: 59 Duration: 10 Cost: 28

| R2 Level 1 (Cost: 10 Duration: 10) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A10 - Start: 50 End: 67 Duration: 17 Cost: 52

| R1 Level 1 (Cost: 34 Duration: 17) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A17 - Start: 59 End: 71 Duration: 12 Cost: 51

| R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12)

Activity A11 - Start: 67 End: 76 Duration: 9 Cost: 34

| R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A12 - Start: 67 End: 85 Duration: 18 Cost: 57

| R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 18) | R3 Level 1 (Cost: 39 Duration: 13)

Activity A14 - Start: 76 End: 91 Duration: 15 Cost: 33

| R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A18 - Start: 85 End: 100 Duration: 15 Cost: 69

| R1 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 45 Duration: 15)

Activity A16 - Start: 91 End: 99 Duration: 8 Cost: 32

| R2 Level 2 (Cost: 32 Duration: 8)

Activity A19 - Start: 99 End: 112 Duration: 13 Cost: 27

| R2 Level 1 (Cost: 13 Duration: 13) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A20 - Start: 112 End: 129 Duration: 17 Cost: 51

| R3 Level 1 (Cost: 51 Duration: 17)

4. Resultado BW: 2000 ET: Cost_Duration

Project: rede 20 atividades (C:\redes\20ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 2000 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 23,2142624 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 865

--> Total Project Cost: 2045

--> Project Conclusion: 129

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 14 Duration: 14 Cost: 52

| R1 Level 1 (Cost: 28 Duration: 14) | R3 Level 1 (Cost: 24 Duration: 8)

Activity A2 - Start: 0 End: 20 Duration: 20 Cost: 49

| R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20)

Activity A5 - Start: 0 End: 15 Duration: 15 Cost: 36

| R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15)

Activity A3 - Start: 20 End: 29 Duration: 9 Cost: 33

| R3 Level 1 (Cost: 15 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A4 - Start: 20 End: 36 Duration: 16 Cost: 25

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 16) | R3 Level 3 (Cost: 9 Duration: 1)

Activity A6 - Start: 29 End: 38 Duration: 9 Cost: 35

| R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9)

Activity A7 - Start: 36 End: 50 Duration: 14 Cost: 64

| R1 Level 1 (Cost: 22 Duration: 11) | R3 Level 1 (Cost: 42 Duration: 14)

Activity A8 - Start: 36 End: 55 Duration: 19 Cost: 74

| R3 Level 1 (Cost: 36 Duration: 12) | R4 Level 1 (Cost: 38 Duration: 19)

Activity A9 - Start: 38 End: 49 Duration: 11 Cost: 31

| R1 Level 1 (Cost: 22 Duration: 11) | R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A15 - Start: 38 End: 54 Duration: 16 Cost: 32

| R1 Level 1 (Cost: 32 Duration: 16)

Activity A13 - Start: 49 End: 59 Duration: 10 Cost: 28
 | R2 Level 1 (Cost: 10 Duration: 10) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A10 - Start: 50 End: 67 Duration: 17 Cost: 52
 | R1 Level 1 (Cost: 34 Duration: 17) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A17 - Start: 59 End: 71 Duration: 12 Cost: 51
 | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12)

Activity A11 - Start: 67 End: 76 Duration: 9 Cost: 34
 | R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A12 - Start: 67 End: 85 Duration: 18 Cost: 57
 | R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 18) | R3 Level 1 (Cost: 39 Duration: 13)

Activity A14 - Start: 76 End: 91 Duration: 15 Cost: 33
 | R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A18 - Start: 85 End: 100 Duration: 15 Cost: 69
 | R1 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 45 Duration: 15)

Activity A16 - Start: 91 End: 99 Duration: 8 Cost: 32
 | R2 Level 2 (Cost: 32 Duration: 8)

Activity A19 - Start: 99 End: 112 Duration: 13 Cost: 27
 | R2 Level 1 (Cost: 13 Duration: 13) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A20 - Start: 112 End: 129 Duration: 17 Cost: 51
 | R3 Level 1 (Cost: 51 Duration: 17)

5. Resultado BW: 3000 ET: Cost_Duration

Project: rede 20 atividades (C:\redes\20ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 3000 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 35,4551302 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 864

--> Total Project Cost: 2044

--> Project Conclusion: 129

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 8 Duration: 8 Cost: 52
 | R1 Level 3 (Cost: 28 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 24 Duration: 8)

Activity A2 - Start: 0 End: 20 Duration: 20 Cost: 49
 | R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20)

Activity A5 - Start: 0 End: 15 Duration: 15 Cost: 36
 | R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15)

Activity A3 - Start: 20 End: 29 Duration: 9 Cost: 33
 | R3 Level 1 (Cost: 15 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A4 - Start: 20 End: 36 Duration: 16 Cost: 25
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 16) | R3 Level 3 (Cost: 9 Duration: 1)

Activity A6 - Start: 29 End: 38 Duration: 9 Cost: 35
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9)

Activity A7 - Start: 36 End: 50 Duration: 14 Cost: 64
 | R1 Level 1 (Cost: 22 Duration: 11) | R3 Level 1 (Cost: 42 Duration: 14)

Activity A8 - Start: 36 End: 55 Duration: 19 Cost: 74
 | R3 Level 1 (Cost: 36 Duration: 12) | R4 Level 1 (Cost: 38 Duration: 19)

Activity A9 - Start: 38 End: 47 Duration: 9 Cost: 30
 | R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A15 - Start: 38 End: 54 Duration: 16 Cost: 32
 | R1 Level 1 (Cost: 32 Duration: 16)

Activity A13 - Start: 47 End: 57 Duration: 10 Cost: 28
 | R2 Level 1 (Cost: 10 Duration: 10) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A10 - Start: 50 End: 67 Duration: 17 Cost: 52
 | R1 Level 1 (Cost: 34 Duration: 17) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A17 - Start: 57 End: 69 Duration: 12 Cost: 51
 | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12)

Activity A11 - Start: 67 End: 76 Duration: 9 Cost: 34
 | R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A12 - Start: 67 End: 85 Duration: 18 Cost: 57
 | R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 18) | R3 Level 1 (Cost: 39 Duration: 13)

Activity A14 - Start: 76 End: 91 Duration: 15 Cost: 33
 | R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A18 - Start: 85 End: 100 Duration: 15 Cost: 69
 | R1 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 45 Duration: 15)

Activity A16 - Start: 91 End: 99 Duration: 8 Cost: 32
 | R2 Level 2 (Cost: 32 Duration: 8)

Activity A19 - Start: 99 End: 112 Duration: 13 Cost: 27
 | R2 Level 1 (Cost: 13 Duration: 13) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A20 - Start: 112 End: 129 Duration: 17 Cost: 51
 | R3 Level 1 (Cost: 51 Duration: 17)

6. Resultado BW: 5000 ET: Cost_Duration

Project: rede 20 atividades (C:\redes\20ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 5000 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 51,7229141 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 864

--> Total Project Cost: 2044

--> Project Conclusion: 129

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 14 Duration: 14 Cost: 52

| R1 Level 1 (Cost: 28 Duration: 14) | R3 Level 1 (Cost: 24 Duration: 8)

Activity A2 - Start: 0 End: 20 Duration: 20 Cost: 49

| R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20)

Activity A5 - Start: 0 End: 15 Duration: 15 Cost: 36

| R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15)

Activity A3 - Start: 20 End: 29 Duration: 9 Cost: 33

| R3 Level 1 (Cost: 15 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A4 - Start: 20 End: 36 Duration: 16 Cost: 25

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 16) | R3 Level 3 (Cost: 9 Duration: 1)

Activity A6 - Start: 29 End: 38 Duration: 9 Cost: 35

| R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9)

Activity A7 - Start: 36 End: 50 Duration: 14 Cost: 64

| R1 Level 1 (Cost: 22 Duration: 11) | R3 Level 1 (Cost: 42 Duration: 14)

Activity A8 - Start: 36 End: 55 Duration: 19 Cost: 74

| R3 Level 1 (Cost: 36 Duration: 12) | R4 Level 1 (Cost: 38 Duration: 19)

Activity A9 - Start: 38 End: 47 Duration: 9 Cost: 30

| R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A15 - Start: 38 End: 54 Duration: 16 Cost: 32

| R1 Level 1 (Cost: 32 Duration: 16)

Activity A13 - Start: 47 End: 57 Duration: 10 Cost: 28

| R2 Level 1 (Cost: 10 Duration: 10) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A10 - Start: 50 End: 67 Duration: 17 Cost: 52

| R1 Level 1 (Cost: 34 Duration: 17) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A17 - Start: 57 End: 69 Duration: 12 Cost: 51

| R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12)

Activity A11 - Start: 67 End: 76 Duration: 9 Cost: 34

| R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A12 - Start: 67 End: 85 Duration: 18 Cost: 57
 | R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 18) | R3 Level 1 (Cost: 39 Duration: 13)
 Activity A14 - Start: 76 End: 91 Duration: 15 Cost: 33
 | R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)
 Activity A18 - Start: 85 End: 100 Duration: 15 Cost: 69
 | R1 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 45 Duration: 15)
 Activity A16 - Start: 91 End: 99 Duration: 8 Cost: 32
 | R2 Level 2 (Cost: 32 Duration: 8)
 Activity A19 - Start: 99 End: 112 Duration: 13 Cost: 27
 | R2 Level 1 (Cost: 13 Duration: 13) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A20 - Start: 112 End: 129 Duration: 17 Cost: 51
 | R3 Level 1 (Cost: 51 Duration: 17)

7. Resultado BW: 10000 ET: Cost_Duration

Project: rede 20 atividades (C:\redes\20ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 10000 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 84,2624314 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 864

--> Total Project Cost: 2044

--> Project Conclusion: 129

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 14 Duration: 14 Cost: 52

| R1 Level 1 (Cost: 28 Duration: 14) | R3 Level 1 (Cost: 24 Duration: 8)

Activity A2 - Start: 0 End: 20 Duration: 20 Cost: 49

| R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20)

Activity A5 - Start: 0 End: 15 Duration: 15 Cost: 36

| R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15)

Activity A3 - Start: 20 End: 29 Duration: 9 Cost: 33

| R3 Level 1 (Cost: 15 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A4 - Start: 20 End: 36 Duration: 16 Cost: 25

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 16) | R3 Level 3 (Cost: 9 Duration: 1)

Activity A6 - Start: 29 End: 38 Duration: 9 Cost: 35

| R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9)

Activity A7 - Start: 36 End: 50 Duration: 14 Cost: 64

| R1 Level 1 (Cost: 22 Duration: 11) | R3 Level 1 (Cost: 42 Duration: 14)
 Activity A8 - Start: 36 End: 55 Duration: 19 Cost: 74
 | R3 Level 1 (Cost: 36 Duration: 12) | R4 Level 1 (Cost: 38 Duration: 19)
 Activity A9 - Start: 38 End: 47 Duration: 9 Cost: 30
 | R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)
 Activity A15 - Start: 38 End: 54 Duration: 16 Cost: 32
 | R1 Level 1 (Cost: 32 Duration: 16)
 Activity A13 - Start: 47 End: 57 Duration: 10 Cost: 28
 | R2 Level 1 (Cost: 10 Duration: 10) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)
 Activity A10 - Start: 50 End: 67 Duration: 17 Cost: 52
 | R1 Level 1 (Cost: 34 Duration: 17) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)
 Activity A17 - Start: 57 End: 69 Duration: 12 Cost: 51
 | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12)
 Activity A11 - Start: 67 End: 76 Duration: 9 Cost: 34
 | R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A12 - Start: 67 End: 85 Duration: 18 Cost: 57
 | R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 18) | R3 Level 1 (Cost: 39 Duration: 13)
 Activity A14 - Start: 76 End: 91 Duration: 15 Cost: 33
 | R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)
 Activity A18 - Start: 85 End: 100 Duration: 15 Cost: 69
 | R1 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 45 Duration: 15)
 Activity A16 - Start: 91 End: 99 Duration: 8 Cost: 32
 | R2 Level 2 (Cost: 32 Duration: 8)
 Activity A19 - Start: 99 End: 112 Duration: 13 Cost: 27
 | R2 Level 1 (Cost: 13 Duration: 13) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A20 - Start: 112 End: 129 Duration: 17 Cost: 51
 | R3 Level 1 (Cost: 51 Duration: 17)

8. Resultado BW: 50 ET: Cost

Project: rede 20 actividades (C:\redes\20ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 50 Evaluation type: Cost

Computation Time: 0,201257 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 846

--> Total Project Cost: 2146

--> Project Conclusion: 135

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 8 Duration: 8 Cost: 52

| R1 Level 3 (Cost: 28 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 24 Duration: 8)

Activity A2 - Start: 0 End: 20 Duration: 20 Cost: 49

| R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20)

Activity A5 - Start: 0 End: 15 Duration: 15 Cost: 36

| R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15)

Activity A3 - Start: 20 End: 29 Duration: 9 Cost: 33

| R3 Level 1 (Cost: 15 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A4 - Start: 20 End: 36 Duration: 16 Cost: 25

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 16) | R3 Level 3 (Cost: 9 Duration: 1)

Activity A6 - Start: 29 End: 38 Duration: 9 Cost: 35

| R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9)

Activity A7 - Start: 36 End: 50 Duration: 14 Cost: 64

| R1 Level 1 (Cost: 22 Duration: 11) | R3 Level 1 (Cost: 42 Duration: 14)

Activity A8 - Start: 36 End: 55 Duration: 19 Cost: 74

| R3 Level 1 (Cost: 36 Duration: 12) | R4 Level 1 (Cost: 38 Duration: 19)

Activity A9 - Start: 38 End: 47 Duration: 9 Cost: 30

| R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A15 - Start: 38 End: 54 Duration: 16 Cost: 32

| R1 Level 1 (Cost: 32 Duration: 16)

Activity A13 - Start: 47 End: 57 Duration: 10 Cost: 28

| R2 Level 1 (Cost: 10 Duration: 10) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A10 - Start: 50 End: 67 Duration: 17 Cost: 52

| R1 Level 1 (Cost: 34 Duration: 17) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A17 - Start: 57 End: 69 Duration: 12 Cost: 51

| R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12)

Activity A11 - Start: 67 End: 76 Duration: 9 Cost: 34

| R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A12 - Start: 67 End: 85 Duration: 18 Cost: 57

| R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 18) | R3 Level 1 (Cost: 39 Duration: 13)

Activity A14 - Start: 76 End: 91 Duration: 15 Cost: 33

| R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A18 - Start: 85 End: 100 Duration: 15 Cost: 69

| R1 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 45 Duration: 15)

Activity A16 - Start: 91 End: 105 Duration: 14 Cost: 14

| R2 Level 1 (Cost: 14 Duration: 14)

Activity A19 - Start: 105 End: 118 Duration: 13 Cost: 27

| R2 Level 1 (Cost: 13 Duration: 13) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
Activity A20 - Start: 118 End: 135 Duration: 17 Cost: 51
| R3 Level 1 (Cost: 51 Duration: 17)

9. Resultado BW: 500 ET: Cost

Project: rede 20 atividades (C:\redes\20ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 500 Evaluation type: Cost

Computation Time: 3,1781327 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 902

--> Total Project Cost: 1702

--> Project Conclusion: 110

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 14 Duration: 14 Cost: 52

| R1 Level 1 (Cost: 28 Duration: 14) | R3 Level 1 (Cost: 24 Duration: 8)

Activity A2 - Start: 0 End: 20 Duration: 20 Cost: 49

| R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20)

Activity A5 - Start: 0 End: 15 Duration: 15 Cost: 36

| R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15)

Activity A3 - Start: 20 End: 29 Duration: 9 Cost: 33

| R3 Level 1 (Cost: 15 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A4 - Start: 20 End: 36 Duration: 16 Cost: 25

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 16) | R3 Level 3 (Cost: 9 Duration: 1)

Activity A6 - Start: 29 End: 38 Duration: 9 Cost: 35

| R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9)

Activity A7 - Start: 36 End: 50 Duration: 14 Cost: 64

| R1 Level 1 (Cost: 22 Duration: 11) | R3 Level 1 (Cost: 42 Duration: 14)

Activity A8 - Start: 36 End: 55 Duration: 19 Cost: 74

| R3 Level 1 (Cost: 36 Duration: 12) | R4 Level 1 (Cost: 38 Duration: 19)

Activity A9 - Start: 38 End: 47 Duration: 9 Cost: 30

| R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A15 - Start: 38 End: 54 Duration: 16 Cost: 32

| R1 Level 1 (Cost: 32 Duration: 16)

Activity A13 - Start: 47 End: 57 Duration: 10 Cost: 28

| R2 Level 1 (Cost: 10 Duration: 10) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A10 - Start: 50 End: 67 Duration: 17 Cost: 52

| R1 Level 1 (Cost: 34 Duration: 17) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)
 Activity A17 - Start: 57 End: 69 Duration: 12 Cost: 51
 | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12)
 Activity A11 - Start: 67 End: 76 Duration: 9 Cost: 34
 | R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A12 - Start: 67 End: 85 Duration: 18 Cost: 57
 | R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 18) | R3 Level 1 (Cost: 39 Duration: 13)
 Activity A14 - Start: 76 End: 80 Duration: 4 Cost: 50
 | R2 Level 3 (Cost: 32 Duration: 4) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)
 Activity A16 - Start: 85 End: 89 Duration: 4 Cost: 32
 | R2 Level 3 (Cost: 32 Duration: 4)
 Activity A18 - Start: 85 End: 100 Duration: 15 Cost: 69
 | R1 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 45 Duration: 15)
 Activity A19 - Start: 89 End: 102 Duration: 13 Cost: 27
 | R2 Level 1 (Cost: 13 Duration: 13) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A20 - Start: 102 End: 110 Duration: 8 Cost: 72
 | R3 Level 3 (Cost: 72 Duration: 8)

10. Resultado BW: 1000 ET: Cost

Project: rede de 30 atividades (C:\redes\30ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 1000 Evaluation type: Cost

Computation Time: 15,967909 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 902

--> Total Project Cost: 1702

--> Project Conclusion: 110

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 14 Duration: 14 Cost: 52

| R1 Level 1 (Cost: 28 Duration: 14) | R3 Level 1 (Cost: 24 Duration: 8)

Activity A2 - Start: 0 End: 20 Duration: 20 Cost: 49

| R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20)

Activity A5 - Start: 0 End: 15 Duration: 15 Cost: 36

| R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15)

Activity A3 - Start: 20 End: 29 Duration: 9 Cost: 33

| R3 Level 1 (Cost: 15 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)
 Activity A4 - Start: 20 End: 36 Duration: 16 Cost: 25
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 16) | R3 Level 3 (Cost: 9 Duration: 1)
 Activity A6 - Start: 29 End: 38 Duration: 9 Cost: 35
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9)
 Activity A7 - Start: 36 End: 50 Duration: 14 Cost: 64
 | R1 Level 1 (Cost: 22 Duration: 11) | R3 Level 1 (Cost: 42 Duration: 14)
 Activity A8 - Start: 36 End: 55 Duration: 19 Cost: 74
 | R3 Level 1 (Cost: 36 Duration: 12) | R4 Level 1 (Cost: 38 Duration: 19)
 Activity A9 - Start: 38 End: 47 Duration: 9 Cost: 30
 | R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)
 Activity A15 - Start: 38 End: 54 Duration: 16 Cost: 32
 | R1 Level 1 (Cost: 32 Duration: 16)
 Activity A13 - Start: 47 End: 57 Duration: 10 Cost: 28
 | R2 Level 1 (Cost: 10 Duration: 10) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)
 Activity A10 - Start: 50 End: 67 Duration: 17 Cost: 52
 | R1 Level 1 (Cost: 34 Duration: 17) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)
 Activity A17 - Start: 57 End: 69 Duration: 12 Cost: 51
 | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12)
 Activity A11 - Start: 67 End: 76 Duration: 9 Cost: 34
 | R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A12 - Start: 67 End: 85 Duration: 18 Cost: 57
 | R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 18) | R3 Level 1 (Cost: 39 Duration: 13)
 Activity A14 - Start: 76 End: 80 Duration: 4 Cost: 50
 | R2 Level 3 (Cost: 32 Duration: 4) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)
 Activity A16 - Start: 85 End: 89 Duration: 4 Cost: 32
 | R2 Level 3 (Cost: 32 Duration: 4)
 Activity A18 - Start: 85 End: 100 Duration: 15 Cost: 69
 | R1 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 45 Duration: 15)
 Activity A19 - Start: 89 End: 102 Duration: 13 Cost: 27
 | R2 Level 1 (Cost: 13 Duration: 13) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A20 - Start: 102 End: 110 Duration: 8 Cost: 72
 | R3 Level 3 (Cost: 72 Duration: 8)

11. Resultado BW: 2000 ET: Cost

Project: rede 20 atividades (C:\redes\20ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 2000 Evaluation type: Cost

Computation Time: 25,0199606 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 902

--> Total Project Cost: 1702

--> Project Conclusion: 110

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 14 Duration: 14 Cost: 52

| R1 Level 1 (Cost: 28 Duration: 14) | R3 Level 1 (Cost: 24 Duration: 8)

Activity A2 - Start: 0 End: 20 Duration: 20 Cost: 49

| R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20)

Activity A5 - Start: 0 End: 15 Duration: 15 Cost: 36

| R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15)

Activity A3 - Start: 20 End: 29 Duration: 9 Cost: 33

| R3 Level 1 (Cost: 15 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A4 - Start: 20 End: 36 Duration: 16 Cost: 25

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 16) | R3 Level 3 (Cost: 9 Duration: 1)

Activity A6 - Start: 29 End: 38 Duration: 9 Cost: 35

| R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9)

Activity A7 - Start: 36 End: 50 Duration: 14 Cost: 64

| R1 Level 1 (Cost: 22 Duration: 11) | R3 Level 1 (Cost: 42 Duration: 14)

Activity A8 - Start: 36 End: 55 Duration: 19 Cost: 74

| R3 Level 1 (Cost: 36 Duration: 12) | R4 Level 1 (Cost: 38 Duration: 19)

Activity A9 - Start: 38 End: 47 Duration: 9 Cost: 30

| R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A15 - Start: 38 End: 54 Duration: 16 Cost: 32

| R1 Level 1 (Cost: 32 Duration: 16)

Activity A13 - Start: 47 End: 57 Duration: 10 Cost: 28

| R2 Level 1 (Cost: 10 Duration: 10) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A10 - Start: 50 End: 67 Duration: 17 Cost: 52

| R1 Level 1 (Cost: 34 Duration: 17) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A17 - Start: 57 End: 69 Duration: 12 Cost: 51

| R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12)

Activity A11 - Start: 67 End: 76 Duration: 9 Cost: 34

| R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A12 - Start: 67 End: 85 Duration: 18 Cost: 57

| R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 18) | R3 Level 1 (Cost: 39 Duration: 13)

Activity A14 - Start: 76 End: 80 Duration: 4 Cost: 50

| R2 Level 3 (Cost: 32 Duration: 4) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A16 - Start: 85 End: 89 Duration: 4 Cost: 32

| R2 Level 3 (Cost: 32 Duration: 4)

Activity A18 - Start: 85 End: 100 Duration: 15 Cost: 69

| R1 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 45 Duration: 15)

Activity A19 - Start: 89 End: 102 Duration: 13 Cost: 27

| R2 Level 1 (Cost: 13 Duration: 13) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A20 - Start: 102 End: 110 Duration: 8 Cost: 72

| R3 Level 3 (Cost: 72 Duration: 8)

12. Resultado BW: 3000 ET: Cost

Project: rede 20 atividades (C:\redes\20ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 3000 Evaluation type: Cost

Computation Time: 31,9384633 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 902

--> Total Project Cost: 1702

--> Project Conclusion: 110

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 8 Duration: 8 Cost: 52

| R1 Level 3 (Cost: 28 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 24 Duration: 8)

Activity A2 - Start: 0 End: 20 Duration: 20 Cost: 49

| R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20)

Activity A5 - Start: 0 End: 15 Duration: 15 Cost: 36

| R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15)

Activity A3 - Start: 20 End: 29 Duration: 9 Cost: 33

| R3 Level 1 (Cost: 15 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A4 - Start: 20 End: 36 Duration: 16 Cost: 25

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 16) | R3 Level 3 (Cost: 9 Duration: 1)

Activity A6 - Start: 29 End: 38 Duration: 9 Cost: 35

| R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9)

Activity A7 - Start: 36 End: 50 Duration: 14 Cost: 64

| R1 Level 1 (Cost: 22 Duration: 11) | R3 Level 1 (Cost: 42 Duration: 14)

Activity A8 - Start: 36 End: 55 Duration: 19 Cost: 74

| R3 Level 1 (Cost: 36 Duration: 12) | R4 Level 1 (Cost: 38 Duration: 19)

Activity A9 - Start: 38 End: 47 Duration: 9 Cost: 30
 | R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A15 - Start: 38 End: 54 Duration: 16 Cost: 32
 | R1 Level 1 (Cost: 32 Duration: 16)

Activity A13 - Start: 47 End: 57 Duration: 10 Cost: 28
 | R2 Level 1 (Cost: 10 Duration: 10) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A10 - Start: 50 End: 67 Duration: 17 Cost: 52
 | R1 Level 1 (Cost: 34 Duration: 17) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A17 - Start: 57 End: 69 Duration: 12 Cost: 51
 | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12)

Activity A11 - Start: 67 End: 76 Duration: 9 Cost: 34
 | R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A12 - Start: 67 End: 85 Duration: 18 Cost: 57
 | R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 18) | R3 Level 1 (Cost: 39 Duration: 13)

Activity A14 - Start: 76 End: 84 Duration: 8 Cost: 50
 | R2 Level 2 (Cost: 32 Duration: 8) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A16 - Start: 85 End: 89 Duration: 4 Cost: 32
 | R2 Level 3 (Cost: 32 Duration: 4)

Activity A18 - Start: 85 End: 100 Duration: 15 Cost: 69
 | R1 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 45 Duration: 15)

Activity A19 - Start: 89 End: 102 Duration: 13 Cost: 27
 | R2 Level 1 (Cost: 13 Duration: 13) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A20 - Start: 102 End: 110 Duration: 8 Cost: 72
 | R3 Level 3 (Cost: 72 Duration: 8)

13. Resultado BW: 5000 ET: Cost

Project: rede 20 atividades (C:\redes\20ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 5000 Evaluation type: Cost

Computation Time: 47,469163 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 902

--> Total Project Cost: 1702

--> Project Conclusion: 110

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 14 Duration: 14 Cost: 52

| R1 Level 1 (Cost: 28 Duration: 14) | R3 Level 1 (Cost: 24 Duration: 8)

Activity A2 - Start: 0 End: 20 Duration: 20 Cost: 49
 | R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20)

Activity A5 - Start: 0 End: 15 Duration: 15 Cost: 36
 | R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15)

Activity A3 - Start: 20 End: 29 Duration: 9 Cost: 33
 | R3 Level 1 (Cost: 15 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A4 - Start: 20 End: 36 Duration: 16 Cost: 25
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 16) | R3 Level 3 (Cost: 9 Duration: 1)

Activity A6 - Start: 29 End: 38 Duration: 9 Cost: 35
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9)

Activity A7 - Start: 36 End: 50 Duration: 14 Cost: 64
 | R1 Level 1 (Cost: 22 Duration: 11) | R3 Level 1 (Cost: 42 Duration: 14)

Activity A8 - Start: 36 End: 55 Duration: 19 Cost: 74
 | R3 Level 1 (Cost: 36 Duration: 12) | R4 Level 1 (Cost: 38 Duration: 19)

Activity A9 - Start: 38 End: 47 Duration: 9 Cost: 30
 | R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A15 - Start: 38 End: 54 Duration: 16 Cost: 32
 | R1 Level 1 (Cost: 32 Duration: 16)

Activity A13 - Start: 47 End: 57 Duration: 10 Cost: 28
 | R2 Level 1 (Cost: 10 Duration: 10) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A10 - Start: 50 End: 67 Duration: 17 Cost: 52
 | R1 Level 1 (Cost: 34 Duration: 17) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A17 - Start: 57 End: 69 Duration: 12 Cost: 51
 | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12)

Activity A11 - Start: 67 End: 76 Duration: 9 Cost: 34
 | R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A12 - Start: 67 End: 85 Duration: 18 Cost: 57
 | R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 18) | R3 Level 1 (Cost: 39 Duration: 13)

Activity A14 - Start: 76 End: 80 Duration: 4 Cost: 50
 | R2 Level 3 (Cost: 32 Duration: 4) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A16 - Start: 85 End: 89 Duration: 4 Cost: 32
 | R2 Level 3 (Cost: 32 Duration: 4)

Activity A18 - Start: 85 End: 100 Duration: 15 Cost: 69
 | R1 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 45 Duration: 15)

Activity A19 - Start: 89 End: 102 Duration: 13 Cost: 27
 | R2 Level 1 (Cost: 13 Duration: 13) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A20 - Start: 102 End: 110 Duration: 8 Cost: 72
 | R3 Level 3 (Cost: 72 Duration: 8)

14. Resultado BW: 10000 ET: Cost

Project: rede 20 atividades (C:\redes\20ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 10000 Evaluation type: Cost

Computation Time: 76,0728583 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 902

--> Total Project Cost: 1702

--> Project Conclusion: 110

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 14 Duration: 14 Cost: 52

| R1 Level 1 (Cost: 28 Duration: 14) | R3 Level 1 (Cost: 24 Duration: 8)

Activity A2 - Start: 0 End: 20 Duration: 20 Cost: 49

| R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 40 Duration: 20)

Activity A5 - Start: 0 End: 15 Duration: 15 Cost: 36

| R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15)

Activity A3 - Start: 20 End: 29 Duration: 9 Cost: 33

| R3 Level 1 (Cost: 15 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A4 - Start: 20 End: 36 Duration: 16 Cost: 25

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 16) | R3 Level 3 (Cost: 9 Duration: 1)

Activity A6 - Start: 29 End: 38 Duration: 9 Cost: 35

| R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 8) | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9)

Activity A7 - Start: 36 End: 50 Duration: 14 Cost: 64

| R1 Level 1 (Cost: 22 Duration: 11) | R3 Level 1 (Cost: 42 Duration: 14)

Activity A8 - Start: 36 End: 55 Duration: 19 Cost: 74

| R3 Level 1 (Cost: 36 Duration: 12) | R4 Level 1 (Cost: 38 Duration: 19)

Activity A9 - Start: 38 End: 47 Duration: 9 Cost: 30

| R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9)

Activity A15 - Start: 38 End: 54 Duration: 16 Cost: 32

| R1 Level 1 (Cost: 32 Duration: 16)

Activity A13 - Start: 47 End: 57 Duration: 10 Cost: 28

| R2 Level 1 (Cost: 10 Duration: 10) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A10 - Start: 50 End: 67 Duration: 17 Cost: 52

| R1 Level 1 (Cost: 34 Duration: 17) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A17 - Start: 57 End: 69 Duration: 12 Cost: 51

| R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12)

Activity A11 - Start: 67 End: 76 Duration: 9 Cost: 34

| R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A12 - Start: 67 End: 85 Duration: 18 Cost: 57
 | R2 Level 1 (Cost: 18 Duration: 18) | R3 Level 1 (Cost: 39 Duration: 13)
 Activity A14 - Start: 76 End: 84 Duration: 8 Cost: 50
 | R2 Level 2 (Cost: 32 Duration: 8) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)
 Activity A16 - Start: 85 End: 89 Duration: 4 Cost: 32
 | R2 Level 3 (Cost: 32 Duration: 4)
 Activity A18 - Start: 85 End: 100 Duration: 15 Cost: 69
 | R1 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 45 Duration: 15)
 Activity A19 - Start: 89 End: 102 Duration: 13 Cost: 27
 | R2 Level 1 (Cost: 13 Duration: 13) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A20 - Start: 102 End: 110 Duration: 8 Cost: 72
 | R3 Level 3 (Cost: 72 Duration: 8)

15. Resultado BW: 50 ET: Duration

Project: rede 20 atividades (C:\redes\20ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 50 Evaluation type: Duration

Computation Time: 0,9033005 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 1502

--> Total Project Cost: 1502

--> Project Conclusion: 70

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 7 Duration: 7 Cost: 62

| R1 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7) | R3 Level 3 (Cost: 27 Duration: 3)

Activity A2 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 109

| R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9) | R4 Level 3 (Cost: 100 Duration: 10)

Activity A5 - Start: 0 End: 7 Duration: 7 Cost: 49

| R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 2 (Cost: 28 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 10 End: 15 Duration: 5 Cost: 65

| R3 Level 1 (Cost: 15 Duration: 5) | R4 Level 3 (Cost: 50 Duration: 5)

Activity A4 - Start: 10 End: 18 Duration: 8 Cost: 73

| R2 Level 3 (Cost: 64 Duration: 8) | R3 Level 3 (Cost: 9 Duration: 1)

Activity A6 - Start: 15 End: 20 Duration: 5 Cost: 69

| R2 Level 3 (Cost: 24 Duration: 3) | R3 Level 3 (Cost: 45 Duration: 5)

Activity A7 - Start: 18 End: 28 Duration: 10 Cost: 118

| R1 Level 3 (Cost: 28 Duration: 4) | R3 Level 3 (Cost: 90 Duration: 10)
 Activity A8 - Start: 18 End: 28 Duration: 10 Cost: 160
 | R3 Level 2 (Cost: 60 Duration: 10) | R4 Level 3 (Cost: 100 Duration: 10)
 Activity A9 - Start: 20 End: 28 Duration: 8 Cost: 60
 | R1 Level 2 (Cost: 40 Duration: 8) | R2 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)
 Activity A15 - Start: 20 End: 28 Duration: 8 Cost: 56
 | R1 Level 3 (Cost: 56 Duration: 8)
 Activity A10 - Start: 28 End: 37 Duration: 9 Cost: 81
 | R1 Level 3 (Cost: 63 Duration: 9) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)
 Activity A13 - Start: 28 End: 37 Duration: 9 Cost: 38
 | R2 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)
 Activity A11 - Start: 37 End: 46 Duration: 9 Cost: 34
 | R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A12 - Start: 37 End: 49 Duration: 12 Cost: 156
 | R2 Level 3 (Cost: 96 Duration: 12) | R3 Level 2 (Cost: 60 Duration: 10)
 Activity A17 - Start: 37 End: 49 Duration: 12 Cost: 51
 | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12)
 Activity A14 - Start: 46 End: 50 Duration: 4 Cost: 50
 | R2 Level 3 (Cost: 32 Duration: 4) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)
 Activity A18 - Start: 49 End: 55 Duration: 6 Cost: 89
 | R1 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3 Level 3 (Cost: 54 Duration: 6)
 Activity A16 - Start: 50 End: 54 Duration: 4 Cost: 32
 | R2 Level 3 (Cost: 32 Duration: 4)
 Activity A19 - Start: 54 End: 62 Duration: 8 Cost: 78
 | R2 Level 3 (Cost: 64 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A20 - Start: 62 End: 70 Duration: 8 Cost: 72
 | R3 Level 3 (Cost: 72 Duration: 8)

16. Resultado BW: 500 ET: Duration

Project: rede 20 atividades (C:\redes\20ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 500 Evaluation type: Duration

Computation Time: 10,4433972 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 1502

--> Total Project Cost: 1502

--> Project Conclusion: 70

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 7 Duration: 7 Cost: 62

| R1 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7) | R3 Level 3 (Cost: 27 Duration: 3)

Activity A2 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 109

| R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9) | R4 Level 3 (Cost: 100 Duration: 10)

Activity A5 - Start: 0 End: 7 Duration: 7 Cost: 49

| R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 2 (Cost: 28 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 10 End: 15 Duration: 5 Cost: 65

| R3 Level 1 (Cost: 15 Duration: 5) | R4 Level 3 (Cost: 50 Duration: 5)

Activity A4 - Start: 10 End: 18 Duration: 8 Cost: 73

| R2 Level 3 (Cost: 64 Duration: 8) | R3 Level 3 (Cost: 9 Duration: 1)

Activity A6 - Start: 15 End: 20 Duration: 5 Cost: 69

| R2 Level 3 (Cost: 24 Duration: 3) | R3 Level 3 (Cost: 45 Duration: 5)

Activity A7 - Start: 18 End: 28 Duration: 10 Cost: 118

| R1 Level 3 (Cost: 28 Duration: 4) | R3 Level 3 (Cost: 90 Duration: 10)

Activity A8 - Start: 18 End: 28 Duration: 10 Cost: 160

| R3 Level 2 (Cost: 60 Duration: 10) | R4 Level 3 (Cost: 100 Duration: 10)

Activity A9 - Start: 20 End: 28 Duration: 8 Cost: 60

| R1 Level 2 (Cost: 40 Duration: 8) | R2 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A15 - Start: 20 End: 28 Duration: 8 Cost: 56

| R1 Level 3 (Cost: 56 Duration: 8)

Activity A10 - Start: 28 End: 37 Duration: 9 Cost: 81

| R1 Level 3 (Cost: 63 Duration: 9) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A13 - Start: 28 End: 37 Duration: 9 Cost: 38

| R2 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A11 - Start: 37 End: 46 Duration: 9 Cost: 34

| R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A12 - Start: 37 End: 49 Duration: 12 Cost: 156

| R2 Level 3 (Cost: 96 Duration: 12) | R3 Level 2 (Cost: 60 Duration: 10)

Activity A17 - Start: 37 End: 49 Duration: 12 Cost: 51

| R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12)

Activity A14 - Start: 46 End: 50 Duration: 4 Cost: 50

| R2 Level 3 (Cost: 32 Duration: 4) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A18 - Start: 49 End: 55 Duration: 6 Cost: 89

| R1 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3 Level 3 (Cost: 54 Duration: 6)

Activity A16 - Start: 50 End: 54 Duration: 4 Cost: 32

| R2 Level 3 (Cost: 32 Duration: 4)

Activity A19 - Start: 54 End: 62 Duration: 8 Cost: 78

| R2 Level 3 (Cost: 64 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
Activity A20 - Start: 62 End: 70 Duration: 8 Cost: 72
| R3 Level 3 (Cost: 72 Duration: 8)

17. Resultado BW: 1000 ET: Duration

Project: rede 20 atividades (C:\redes\20ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 1000 Evaluation type: Duration

Computation Time: 26,2608795 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 1492

--> Total Project Cost: 1492

--> Project Conclusion: 70

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 8 Duration: 8 Cost: 52

| R1 Level 3 (Cost: 28 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 24 Duration: 8)

Activity A2 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 109

| R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9) | R4 Level 3 (Cost: 100 Duration: 10)

Activity A5 - Start: 0 End: 7 Duration: 7 Cost: 49

| R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 2 (Cost: 28 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 10 End: 15 Duration: 5 Cost: 65

| R3 Level 1 (Cost: 15 Duration: 5) | R4 Level 3 (Cost: 50 Duration: 5)

Activity A4 - Start: 10 End: 18 Duration: 8 Cost: 73

| R2 Level 3 (Cost: 64 Duration: 8) | R3 Level 3 (Cost: 9 Duration: 1)

Activity A6 - Start: 15 End: 20 Duration: 5 Cost: 69

| R2 Level 3 (Cost: 24 Duration: 3) | R3 Level 3 (Cost: 45 Duration: 5)

Activity A7 - Start: 18 End: 28 Duration: 10 Cost: 118

| R1 Level 3 (Cost: 28 Duration: 4) | R3 Level 3 (Cost: 90 Duration: 10)

Activity A8 - Start: 18 End: 28 Duration: 10 Cost: 160

| R3 Level 2 (Cost: 60 Duration: 10) | R4 Level 3 (Cost: 100 Duration: 10)

Activity A9 - Start: 20 End: 28 Duration: 8 Cost: 60

| R1 Level 2 (Cost: 40 Duration: 8) | R2 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A15 - Start: 20 End: 28 Duration: 8 Cost: 56

| R1 Level 3 (Cost: 56 Duration: 8)

Activity A10 - Start: 28 End: 37 Duration: 9 Cost: 81

| R1 Level 3 (Cost: 63 Duration: 9) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A13 - Start: 28 End: 37 Duration: 9 Cost: 38

| R2 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)
 Activity A11 - Start: 37 End: 46 Duration: 9 Cost: 34
 | R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A12 - Start: 37 End: 49 Duration: 12 Cost: 156
 | R2 Level 3 (Cost: 96 Duration: 12) | R3 Level 2 (Cost: 60 Duration: 10)
 Activity A17 - Start: 37 End: 49 Duration: 12 Cost: 51
 | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12)
 Activity A14 - Start: 46 End: 50 Duration: 4 Cost: 50
 | R2 Level 3 (Cost: 32 Duration: 4) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)
 Activity A18 - Start: 49 End: 55 Duration: 6 Cost: 89
 | R1 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3 Level 3 (Cost: 54 Duration: 6)
 Activity A16 - Start: 50 End: 54 Duration: 4 Cost: 32
 | R2 Level 3 (Cost: 32 Duration: 4)
 Activity A19 - Start: 54 End: 62 Duration: 8 Cost: 78
 | R2 Level 3 (Cost: 64 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A20 - Start: 62 End: 70 Duration: 8 Cost: 72
 | R3 Level 3 (Cost: 72 Duration: 8)

18. Resultado BW: 2000 ET: Duration

Project: rede 20 atividades (C:\redes\20ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 2000 Evaluation type: Duration

Computation Time: 164,2516856 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 1479

--> Total Project Cost: 1479

--> Project Conclusion: 70

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 8 Duration: 8 Cost: 52

| R1 Level 3 (Cost: 28 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 24 Duration: 8)

Activity A2 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 109

| R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9) | R4 Level 3 (Cost: 100 Duration: 10)

Activity A5 - Start: 0 End: 15 Duration: 15 Cost: 36

| R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15)

Activity A3 - Start: 10 End: 15 Duration: 5 Cost: 65

| R3 Level 1 (Cost: 15 Duration: 5) | R4 Level 3 (Cost: 50 Duration: 5)

Activity A4 - Start: 10 End: 18 Duration: 8 Cost: 73

| R2 Level 3 (Cost: 64 Duration: 8) | R3 Level 3 (Cost: 9 Duration: 1)
 Activity A6 - Start: 15 End: 20 Duration: 5 Cost: 69
 | R2 Level 3 (Cost: 24 Duration: 3) | R3 Level 3 (Cost: 45 Duration: 5)
 Activity A7 - Start: 18 End: 28 Duration: 10 Cost: 118
 | R1 Level 3 (Cost: 28 Duration: 4) | R3 Level 3 (Cost: 90 Duration: 10)
 Activity A8 - Start: 18 End: 28 Duration: 10 Cost: 160
 | R3 Level 2 (Cost: 60 Duration: 10) | R4 Level 3 (Cost: 100 Duration: 10)
 Activity A9 - Start: 20 End: 28 Duration: 8 Cost: 60
 | R1 Level 2 (Cost: 40 Duration: 8) | R2 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)
 Activity A15 - Start: 20 End: 28 Duration: 8 Cost: 56
 | R1 Level 3 (Cost: 56 Duration: 8)
 Activity A10 - Start: 28 End: 37 Duration: 9 Cost: 81
 | R1 Level 3 (Cost: 63 Duration: 9) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)
 Activity A13 - Start: 28 End: 37 Duration: 9 Cost: 38
 | R2 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)
 Activity A11 - Start: 37 End: 46 Duration: 9 Cost: 34
 | R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A12 - Start: 37 End: 49 Duration: 12 Cost: 156
 | R2 Level 3 (Cost: 96 Duration: 12) | R3 Level 2 (Cost: 60 Duration: 10)
 Activity A17 - Start: 37 End: 49 Duration: 12 Cost: 51
 | R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12)
 Activity A14 - Start: 46 End: 50 Duration: 4 Cost: 50
 | R2 Level 3 (Cost: 32 Duration: 4) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)
 Activity A18 - Start: 49 End: 55 Duration: 6 Cost: 89
 | R1 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3 Level 3 (Cost: 54 Duration: 6)
 Activity A16 - Start: 50 End: 54 Duration: 4 Cost: 32
 | R2 Level 3 (Cost: 32 Duration: 4)
 Activity A19 - Start: 54 End: 62 Duration: 8 Cost: 78
 | R2 Level 3 (Cost: 64 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A20 - Start: 62 End: 70 Duration: 8 Cost: 72
 | R3 Level 3 (Cost: 72 Duration: 8)

19. Resultado BW: 3000 ET: Duration

Project: rede 20 atividades (C:\redes\20ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 3000 Evaluation type: Duration

Computation Time: 257,2785624 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 1479

--> Total Project Cost: 1479

--> Project Conclusion: 70

--> Activities Scheduling:

Activity A1 - Start: 0 End: 8 Duration: 8 Cost: 52

| R1 Level 3 (Cost: 28 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 24 Duration: 8)

Activity A2 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 109

| R2 Level 1 (Cost: 9 Duration: 9) | R4 Level 3 (Cost: 100 Duration: 10)

Activity A5 - Start: 0 End: 15 Duration: 15 Cost: 36

| R1 Level 3 (Cost: 21 Duration: 3) | R2 Level 1 (Cost: 15 Duration: 15)

Activity A3 - Start: 10 End: 15 Duration: 5 Cost: 65

| R3 Level 1 (Cost: 15 Duration: 5) | R4 Level 3 (Cost: 50 Duration: 5)

Activity A4 - Start: 10 End: 18 Duration: 8 Cost: 73

| R2 Level 3 (Cost: 64 Duration: 8) | R3 Level 3 (Cost: 9 Duration: 1)

Activity A6 - Start: 15 End: 20 Duration: 5 Cost: 69

| R2 Level 3 (Cost: 24 Duration: 3) | R3 Level 3 (Cost: 45 Duration: 5)

Activity A7 - Start: 18 End: 28 Duration: 10 Cost: 118

| R1 Level 3 (Cost: 28 Duration: 4) | R3 Level 3 (Cost: 90 Duration: 10)

Activity A8 - Start: 18 End: 28 Duration: 10 Cost: 160

| R3 Level 2 (Cost: 60 Duration: 10) | R4 Level 3 (Cost: 100 Duration: 10)

Activity A9 - Start: 20 End: 28 Duration: 8 Cost: 60

| R1 Level 2 (Cost: 40 Duration: 8) | R2 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A15 - Start: 20 End: 28 Duration: 8 Cost: 56

| R1 Level 3 (Cost: 56 Duration: 8)

Activity A10 - Start: 28 End: 37 Duration: 9 Cost: 81

| R1 Level 3 (Cost: 63 Duration: 9) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A13 - Start: 28 End: 37 Duration: 9 Cost: 38

| R2 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A11 - Start: 37 End: 46 Duration: 9 Cost: 34

| R1 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A12 - Start: 37 End: 49 Duration: 12 Cost: 156

| R2 Level 3 (Cost: 96 Duration: 12) | R3 Level 2 (Cost: 60 Duration: 10)

Activity A17 - Start: 37 End: 49 Duration: 12 Cost: 51

| R3 Level 1 (Cost: 27 Duration: 9) | R4 Level 1 (Cost: 24 Duration: 12)

Activity A14 - Start: 46 End: 50 Duration: 4 Cost: 50

| R2 Level 3 (Cost: 32 Duration: 4) | R3 Level 3 (Cost: 18 Duration: 2)

Activity A18 - Start: 49 End: 55 Duration: 6 Cost: 89

| R1 Level 3 (Cost: 35 Duration: 5) | R3 Level 3 (Cost: 54 Duration: 6)
 Activity A16 - Start: 50 End: 54 Duration: 4 Cost: 32
 | R2 Level 3 (Cost: 32 Duration: 4)
 Activity A19 - Start: 54 End: 62 Duration: 8 Cost: 78
 | R2 Level 3 (Cost: 64 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A20 - Start: 62 End: 70 Duration: 8 Cost: 72
 | R3 Level 3 (Cost: 72 Duration: 8)

E. Rede 30 atividades

1. Resultado BW: 50 ET: Cost_Duration

Project: rede de 30 atividades (C:\redes\30ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 50 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 1,3192138 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 731

--> Total Project Cost: 741

--> Project Conclusion: 101

--> Activities Scheduling:

Activity A30 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 36

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A1 - Start: 0 End: 4 Duration: 4 Cost: 14

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A3 - Start: 4 End: 9 Duration: 5 Cost: 26

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A2 - Start: 9 End: 11 Duration: 2 Cost: 4

| R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A4 - Start: 9 End: 17 Duration: 8 Cost: 44

| R1 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2) | R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 6) | R3

Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A5 - Start: 9 End: 16 Duration: 7 Cost: 14

| R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A7 - Start: 11 End: 19 Duration: 8 Cost: 16

| R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A19 - Start: 17 End: 24 Duration: 7 Cost: 24
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A9 - Start: 19 End: 31 Duration: 12 Cost: 60
 | R2 Level 1 (Cost: 48 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A6 - Start: 19 End: 23 Duration: 4 Cost: 16
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)

Activity A11 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 24
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A25 - Start: 19 End: 22 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A10 - Start: 24 End: 27 Duration: 3 Cost: 10
 | R3 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A12 - Start: 27 End: 36 Duration: 9 Cost: 44
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 2 (Cost: 36 Duration: 9)

Activity A8 - Start: 31 End: 41 Duration: 10 Cost: 30
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A17 - Start: 36 End: 39 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A13 - Start: 41 End: 43 Duration: 2 Cost: 12
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A14 - Start: 41 End: 51 Duration: 10 Cost: 46
 | R1 Level 2 (Cost: 30 Duration: 10) | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)

Activity A15 - Start: 51 End: 58 Duration: 7 Cost: 35
 | R2 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A16 - Start: 58 End: 66 Duration: 8 Cost: 22
 | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A18 - Start: 66 End: 71 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A20 - Start: 66 End: 74 Duration: 8 Cost: 16
 | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A21 - Start: 71 End: 77 Duration: 6 Cost: 22
 | R1 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A22 - Start: 71 End: 81 Duration: 10 Cost: 58
 | R2 Level 1 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A23 - Start: 77 End: 82 Duration: 5 Cost: 14
 | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A27 - Start: 81 End: 89 Duration: 8 Cost: 36
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A24 - Start: 82 End: 89 Duration: 7 Cost: 30

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A26 - Start: 89 End: 95 Duration: 6 Cost: 20

| R1 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A29 - Start: 89 End: 93 Duration: 4 Cost: 14

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A28 - Start: 95 End: 101 Duration: 6 Cost: 12

| R4 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6))

2. Resultado BW: 500 ET: Cost_Duration

Project: rede de 30 atividades (C:\redes\30ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 500 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 3,3228067 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 725

--> Total Project Cost: 725

--> Project Conclusion: 100

--> Activities Scheduling:

Activity A30 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 36

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A1 - Start: 0 End: 7 Duration: 7 Cost: 34

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 2 (Cost: 28 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 7 End: 12 Duration: 5 Cost: 26

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A2 - Start: 10 End: 12 Duration: 2 Cost: 4

| R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A4 - Start: 10 End: 18 Duration: 8 Cost: 44

| R1 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2) | R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 6) | R3

Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A5 - Start: 10 End: 17 Duration: 7 Cost: 14

| R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A7 - Start: 12 End: 20 Duration: 8 Cost: 16

| R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A19 - Start: 18 End: 27 Duration: 9 Cost: 41

| R1 Level 2 (Cost: 27 Duration: 9) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A9 - Start: 20 End: 32 Duration: 12 Cost: 60

| R2 Level 1 (Cost: 48 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)
 Activity A6 - Start: 20 End: 24 Duration: 4 Cost: 16
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)
 Activity A11 - Start: 20 End: 27 Duration: 7 Cost: 24
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A25 - Start: 20 End: 23 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)
 Activity A10 - Start: 27 End: 30 Duration: 3 Cost: 10
 | R3 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)
 Activity A12 - Start: 30 End: 34 Duration: 4 Cost: 16
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)
 Activity A8 - Start: 32 End: 42 Duration: 10 Cost: 30
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)
 Activity A17 - Start: 34 End: 37 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)
 Activity A13 - Start: 42 End: 44 Duration: 2 Cost: 12
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)
 Activity A14 - Start: 42 End: 52 Duration: 10 Cost: 46
 | R1 Level 2 (Cost: 30 Duration: 10) | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)
 Activity A15 - Start: 52 End: 57 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)
 Activity A16 - Start: 57 End: 65 Duration: 8 Cost: 22
 | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)
 Activity A18 - Start: 65 End: 70 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)
 Activity A20 - Start: 65 End: 73 Duration: 8 Cost: 16
 | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A21 - Start: 70 End: 76 Duration: 6 Cost: 22
 | R1 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)
 Activity A22 - Start: 70 End: 80 Duration: 10 Cost: 58
 | R2 Level 1 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)
 Activity A23 - Start: 76 End: 81 Duration: 5 Cost: 14
 | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)
 Activity A27 - Start: 80 End: 88 Duration: 8 Cost: 36
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A24 - Start: 81 End: 88 Duration: 7 Cost: 30
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A26 - Start: 88 End: 94 Duration: 6 Cost: 20

| R1 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)
 Activity A29 - Start: 88 End: 92 Duration: 4 Cost: 14
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)
 Activity A28 - Start: 94 End: 100 Duration: 6 Cost: 12
 | R4 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

3. Resultado BW: 1000 ET: Cost_Duration

Project: rede 30 atividades (C:\redes\30ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 1000 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 6,8932574 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 725

--> Total Project Cost: 725

--> Project Conclusion: 100

--> Activities Scheduling:

Activity A30 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 36

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A1 - Start: 0 End: 7 Duration: 7 Cost: 34

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 2 (Cost: 28 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 7 End: 12 Duration: 5 Cost: 26

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A2 - Start: 10 End: 12 Duration: 2 Cost: 4

| R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A4 - Start: 10 End: 18 Duration: 8 Cost: 44

| R1 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2) | R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 6) | R3

Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A5 - Start: 10 End: 17 Duration: 7 Cost: 14

| R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A7 - Start: 12 End: 20 Duration: 8 Cost: 16

| R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A19 - Start: 18 End: 27 Duration: 9 Cost: 41

| R1 Level 2 (Cost: 27 Duration: 9) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A9 - Start: 20 End: 32 Duration: 12 Cost: 60

| R2 Level 1 (Cost: 48 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A6 - Start: 20 End: 24 Duration: 4 Cost: 16

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)

Activity A11 - Start: 20 End: 27 Duration: 7 Cost: 24
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A25 - Start: 20 End: 23 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A10 - Start: 27 End: 30 Duration: 3 Cost: 10
 | R3 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A12 - Start: 30 End: 34 Duration: 4 Cost: 16
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A8 - Start: 32 End: 42 Duration: 10 Cost: 30
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A17 - Start: 34 End: 37 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A13 - Start: 42 End: 44 Duration: 2 Cost: 12
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A14 - Start: 42 End: 52 Duration: 10 Cost: 46
 | R1 Level 2 (Cost: 30 Duration: 10) | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)

Activity A15 - Start: 52 End: 57 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A16 - Start: 57 End: 65 Duration: 8 Cost: 22
 | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A18 - Start: 65 End: 70 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A20 - Start: 65 End: 73 Duration: 8 Cost: 16
 | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A21 - Start: 70 End: 76 Duration: 6 Cost: 22
 | R1 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A22 - Start: 70 End: 80 Duration: 10 Cost: 58
 | R2 Level 1 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A23 - Start: 76 End: 81 Duration: 5 Cost: 14
 | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A27 - Start: 80 End: 88 Duration: 8 Cost: 36
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A24 - Start: 81 End: 88 Duration: 7 Cost: 30
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A26 - Start: 88 End: 94 Duration: 6 Cost: 20
 | R1 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A29 - Start: 88 End: 92 Duration: 4 Cost: 14
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A28 - Start: 94 End: 100 Duration: 6 Cost: 12

| R4 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

)

4. Resultado BW: 2000 ET: Cost_Duration

Project: rede de 30 atividades (C:\redes\30ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 2000 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 48,9855201 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 688

--> Total Project Cost: 678

--> Project Conclusion: 99

--> Activities Scheduling:

Activity A30 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 36

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A1 - Start: 0 End: 4 Duration: 4 Cost: 14

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A3 - Start: 4 End: 9 Duration: 5 Cost: 26

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A2 - Start: 9 End: 11 Duration: 2 Cost: 4

| R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A4 - Start: 9 End: 17 Duration: 8 Cost: 44

| R1 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2) | R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 6) | R3

Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A5 - Start: 9 End: 16 Duration: 7 Cost: 14

| R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A7 - Start: 11 End: 19 Duration: 8 Cost: 16

| R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A19 - Start: 17 End: 24 Duration: 7 Cost: 24

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A9 - Start: 19 End: 31 Duration: 12 Cost: 60

| R2 Level 1 (Cost: 48 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A6 - Start: 19 End: 23 Duration: 4 Cost: 16

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)

Activity A11 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 24

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A25 - Start: 19 End: 22 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A10 - Start: 24 End: 27 Duration: 3 Cost: 10
 | R3 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A12 - Start: 27 End: 31 Duration: 4 Cost: 16
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A8 - Start: 31 End: 41 Duration: 10 Cost: 30
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A17 - Start: 31 End: 34 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A13 - Start: 41 End: 43 Duration: 2 Cost: 12
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A14 - Start: 41 End: 51 Duration: 10 Cost: 46
 | R1 Level 2 (Cost: 30 Duration: 10) | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)

Activity A15 - Start: 51 End: 56 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A16 - Start: 56 End: 64 Duration: 8 Cost: 22
 | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A18 - Start: 64 End: 69 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A20 - Start: 64 End: 72 Duration: 8 Cost: 16
 | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A21 - Start: 69 End: 75 Duration: 6 Cost: 22
 | R1 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A22 - Start: 69 End: 79 Duration: 10 Cost: 58
 | R2 Level 1 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A23 - Start: 75 End: 80 Duration: 5 Cost: 14
 | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A27 - Start: 79 End: 87 Duration: 8 Cost: 36
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A24 - Start: 80 End: 87 Duration: 7 Cost: 30
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A26 - Start: 87 End: 93 Duration: 6 Cost: 20
 | R1 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A29 - Start: 87 End: 91 Duration: 4 Cost: 14
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A28 - Start: 93 End: 99 Duration: 6 Cost: 12
 | R4 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

5. Resultado BW: 5000 ET: Cost_Duration

Project: rede de 30 atividades (C:\redes\30ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 5000 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 135,8155313 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 719

--> Total Project Cost: 669

--> Project Conclusion: 95

--> Activities Scheduling:

Activity A30 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 36

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A1 - Start: 0 End: 7 Duration: 7 Cost: 34

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 2 (Cost: 28 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 7 End: 12 Duration: 5 Cost: 26

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A2 - Start: 10 End: 12 Duration: 2 Cost: 4

| R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A4 - Start: 10 End: 18 Duration: 8 Cost: 44

| R1 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2) | R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 6) | R3

Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A5 - Start: 10 End: 17 Duration: 7 Cost: 14

| R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A7 - Start: 12 End: 20 Duration: 8 Cost: 16

| R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A19 - Start: 18 End: 27 Duration: 9 Cost: 41

| R1 Level 2 (Cost: 27 Duration: 9) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A9 - Start: 20 End: 32 Duration: 12 Cost: 60

| R2 Level 1 (Cost: 48 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A6 - Start: 20 End: 24 Duration: 4 Cost: 16

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)

Activity A11 - Start: 20 End: 27 Duration: 7 Cost: 24

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A25 - Start: 20 End: 23 Duration: 3 Cost: 6

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A10 - Start: 27 End: 32 Duration: 5 Cost: 24

| R3 Level 2 (Cost: 20 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A8 - Start: 32 End: 42 Duration: 10 Cost: 30
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A12 - Start: 32 End: 36 Duration: 4 Cost: 16
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A17 - Start: 36 End: 39 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A13 - Start: 42 End: 44 Duration: 2 Cost: 12
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A14 - Start: 42 End: 47 Duration: 5 Cost: 26
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)

Activity A15 - Start: 47 End: 52 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A16 - Start: 52 End: 60 Duration: 8 Cost: 22
 | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A18 - Start: 60 End: 65 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A20 - Start: 60 End: 68 Duration: 8 Cost: 16
 | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A21 - Start: 65 End: 71 Duration: 6 Cost: 22
 | R1 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A22 - Start: 65 End: 75 Duration: 10 Cost: 58
 | R2 Level 1 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A23 - Start: 71 End: 76 Duration: 5 Cost: 14
 | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A27 - Start: 75 End: 83 Duration: 8 Cost: 36
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A24 - Start: 76 End: 83 Duration: 7 Cost: 30
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A26 - Start: 83 End: 89 Duration: 6 Cost: 20
 | R1 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A29 - Start: 83 End: 87 Duration: 4 Cost: 14
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A28 - Start: 89 End: 95 Duration: 6 Cost: 12
 | R4 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

6. Resultado BW: 10000 ET: Cost_Duration

Project: rede de 30 atividade (C:\redes\30ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 10000 Evaluation type: Cost_Duration

Computation Time: 178,1609444 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 697

--> Total Project Cost: 647

--> Project Conclusion: 95

--> Activities Scheduling:

Activity A30 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 36

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A1 - Start: 0 End: 7 Duration: 7 Cost: 34

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 2 (Cost: 28 Duration: 7)

Activity A3 - Start: 7 End: 12 Duration: 5 Cost: 26

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A2 - Start: 10 End: 12 Duration: 2 Cost: 4

| R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A4 - Start: 10 End: 18 Duration: 8 Cost: 44

| R1 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2) | R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 6) | R3

Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A5 - Start: 10 End: 17 Duration: 7 Cost: 14

| R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A7 - Start: 12 End: 20 Duration: 8 Cost: 16

| R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A19 - Start: 18 End: 25 Duration: 7 Cost: 24

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A9 - Start: 20 End: 32 Duration: 12 Cost: 60

| R2 Level 1 (Cost: 48 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A6 - Start: 20 End: 24 Duration: 4 Cost: 16

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)

Activity A11 - Start: 20 End: 27 Duration: 7 Cost: 24

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A25 - Start: 20 End: 25 Duration: 5 Cost: 15

| R1 Level 2 (Cost: 15 Duration: 5)

Activity A10 - Start: 25 End: 28 Duration: 3 Cost: 10

| R3 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A12 - Start: 28 End: 32 Duration: 4 Cost: 16

| R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A8 - Start: 32 End: 42 Duration: 10 Cost: 30

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)
 Activity A17 - Start: 32 End: 35 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)
 Activity A13 - Start: 42 End: 44 Duration: 2 Cost: 12
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)
 Activity A14 - Start: 42 End: 47 Duration: 5 Cost: 26
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)
 Activity A15 - Start: 47 End: 52 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)
 Activity A16 - Start: 52 End: 60 Duration: 8 Cost: 22
 | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)
 Activity A18 - Start: 60 End: 65 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)
 Activity A20 - Start: 60 End: 68 Duration: 8 Cost: 16
 | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A21 - Start: 65 End: 71 Duration: 6 Cost: 22
 | R1 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)
 Activity A22 - Start: 65 End: 75 Duration: 10 Cost: 58
 | R2 Level 1 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)
 Activity A23 - Start: 71 End: 76 Duration: 5 Cost: 14
 | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)
 Activity A27 - Start: 75 End: 83 Duration: 8 Cost: 36
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A24 - Start: 76 End: 83 Duration: 7 Cost: 30
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A26 - Start: 83 End: 89 Duration: 6 Cost: 20
 | R1 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)
 Activity A29 - Start: 83 End: 87 Duration: 4 Cost: 14
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)
 Activity A28 - Start: 89 End: 95 Duration: 6 Cost: 12
 | R4 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

7. Resultado BW: 50 ET: Cost

Project: rede de 30 atividades (C:\redes\30ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 50 Evaluation type: Cost

Computation Time: 1,2624114 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 696

--> Total Project Cost: 566

--> Project Conclusion: 87

--> Activities Scheduling:

Activity A30 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 36

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A1 - Start: 0 End: 4 Duration: 4 Cost: 14

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A3 - Start: 4 End: 9 Duration: 5 Cost: 26

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A2 - Start: 9 End: 11 Duration: 2 Cost: 4

| R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A4 - Start: 9 End: 17 Duration: 8 Cost: 44

| R1 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2) | R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 6) | R3

Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A5 - Start: 9 End: 16 Duration: 7 Cost: 14

| R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A7 - Start: 11 End: 19 Duration: 8 Cost: 16

| R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A19 - Start: 17 End: 24 Duration: 7 Cost: 24

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A9 - Start: 19 End: 31 Duration: 12 Cost: 60

| R2 Level 1 (Cost: 48 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A6 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 35

| R2 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A11 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 24

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A25 - Start: 19 End: 24 Duration: 5 Cost: 15

| R1 Level 2 (Cost: 15 Duration: 5)

Activity A8 - Start: 24 End: 34 Duration: 10 Cost: 30

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A10 - Start: 31 End: 34 Duration: 3 Cost: 10

| R3 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A12 - Start: 34 End: 38 Duration: 4 Cost: 16

| R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A14 - Start: 34 End: 39 Duration: 5 Cost: 26

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)

Activity A13 - Start: 38 End: 40 Duration: 2 Cost: 12
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A17 - Start: 38 End: 41 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A15 - Start: 39 End: 44 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A16 - Start: 44 End: 52 Duration: 8 Cost: 22
 | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A18 - Start: 52 End: 57 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A20 - Start: 52 End: 60 Duration: 8 Cost: 16
 | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A21 - Start: 57 End: 63 Duration: 6 Cost: 22
 | R1 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A22 - Start: 57 End: 67 Duration: 10 Cost: 58
 | R2 Level 1 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A23 - Start: 63 End: 68 Duration: 5 Cost: 14
 | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A27 - Start: 67 End: 75 Duration: 8 Cost: 36
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A24 - Start: 68 End: 75 Duration: 7 Cost: 30
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A26 - Start: 75 End: 81 Duration: 6 Cost: 20
 | R1 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A29 - Start: 75 End: 79 Duration: 4 Cost: 14
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A28 - Start: 81 End: 87 Duration: 6 Cost: 12
 | R4 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

8. Resultado BW: 500 ET: Cost

Project: rede de 30 atividades (C:\redes\30ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 500 Evaluation type: Cost

Computation Time: 4,2903906 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 687

--> Total Project Cost: 557

--> Project Conclusion: 87

--> Activities Scheduling:

Activity A30 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 36

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A1 - Start: 0 End: 4 Duration: 4 Cost: 14

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A3 - Start: 4 End: 9 Duration: 5 Cost: 26

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A2 - Start: 9 End: 11 Duration: 2 Cost: 4

| R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A4 - Start: 9 End: 17 Duration: 8 Cost: 44

| R1 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2) | R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 6) | R3

Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A5 - Start: 9 End: 16 Duration: 7 Cost: 14

| R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A7 - Start: 11 End: 19 Duration: 8 Cost: 16

| R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A19 - Start: 17 End: 24 Duration: 7 Cost: 24

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A9 - Start: 19 End: 31 Duration: 12 Cost: 60

| R2 Level 1 (Cost: 48 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A6 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 35

| R2 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A11 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 24

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A25 - Start: 19 End: 22 Duration: 3 Cost: 6

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A8 - Start: 24 End: 34 Duration: 10 Cost: 30

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A10 - Start: 31 End: 34 Duration: 3 Cost: 10

| R3 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A12 - Start: 34 End: 38 Duration: 4 Cost: 16

| R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A14 - Start: 34 End: 39 Duration: 5 Cost: 26

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)

Activity A13 - Start: 38 End: 40 Duration: 2 Cost: 12

| R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A17 - Start: 38 End: 41 Duration: 3 Cost: 6

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)
 Activity A15 - Start: 39 End: 44 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)
 Activity A16 - Start: 44 End: 52 Duration: 8 Cost: 22
 | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)
 Activity A18 - Start: 52 End: 57 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)
 Activity A20 - Start: 52 End: 60 Duration: 8 Cost: 16
 | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A21 - Start: 57 End: 63 Duration: 6 Cost: 22
 | R1 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)
 Activity A22 - Start: 57 End: 67 Duration: 10 Cost: 58
 | R2 Level 1 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)
 Activity A23 - Start: 63 End: 68 Duration: 5 Cost: 14
 | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)
 Activity A27 - Start: 67 End: 75 Duration: 8 Cost: 36
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A24 - Start: 68 End: 75 Duration: 7 Cost: 30
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A26 - Start: 75 End: 81 Duration: 6 Cost: 20
 | R1 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)
 Activity A29 - Start: 75 End: 79 Duration: 4 Cost: 14
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)
 Activity A28 - Start: 81 End: 87 Duration: 6 Cost: 12
 | R4 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

9. Resultado BW: 1000 ET: Cost

Project: rede de 30 atividades (C:\redes\30ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 1000 Evaluation type: Cost

Computation Time: 8,0979005 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 687

--> Total Project Cost: 557

--> Project Conclusion: 87

--> Activities Scheduling:

Activity A30 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 36

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A1 - Start: 0 End: 4 Duration: 4 Cost: 14

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A3 - Start: 4 End: 9 Duration: 5 Cost: 26

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A2 - Start: 9 End: 11 Duration: 2 Cost: 4

| R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A4 - Start: 9 End: 17 Duration: 8 Cost: 44

| R1 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2) | R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 6) | R3

Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A5 - Start: 9 End: 16 Duration: 7 Cost: 14

| R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A7 - Start: 11 End: 19 Duration: 8 Cost: 16

| R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A19 - Start: 17 End: 24 Duration: 7 Cost: 24

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A9 - Start: 19 End: 31 Duration: 12 Cost: 60

| R2 Level 1 (Cost: 48 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A6 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 35

| R2 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A11 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 24

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A25 - Start: 19 End: 22 Duration: 3 Cost: 6

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A8 - Start: 24 End: 34 Duration: 10 Cost: 30

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A10 - Start: 31 End: 34 Duration: 3 Cost: 10

| R3 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A12 - Start: 34 End: 38 Duration: 4 Cost: 16

| R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A14 - Start: 34 End: 39 Duration: 5 Cost: 26

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)

Activity A13 - Start: 38 End: 40 Duration: 2 Cost: 12

| R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A17 - Start: 38 End: 41 Duration: 3 Cost: 6

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A15 - Start: 39 End: 44 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A16 - Start: 44 End: 52 Duration: 8 Cost: 22
 | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A18 - Start: 52 End: 57 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A20 - Start: 52 End: 60 Duration: 8 Cost: 16
 | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A21 - Start: 57 End: 63 Duration: 6 Cost: 22
 | R1 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A22 - Start: 57 End: 67 Duration: 10 Cost: 58
 | R2 Level 1 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A23 - Start: 63 End: 68 Duration: 5 Cost: 14
 | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A27 - Start: 67 End: 75 Duration: 8 Cost: 36
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A24 - Start: 68 End: 75 Duration: 7 Cost: 30
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A26 - Start: 75 End: 81 Duration: 6 Cost: 20
 | R1 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A29 - Start: 75 End: 79 Duration: 4 Cost: 14
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A28 - Start: 81 End: 87 Duration: 6 Cost: 12
 | R4 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

10. Resultado BW: 2000 ET: Cost

Project: rede de 30 atividades (C:\redes\30ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 2000 Evaluation type: Cost

Computation Time: 47,6906329 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 687

--> Total Project Cost: 557

--> Project Conclusion: 87

--> Activities Scheduling:

Activity A30 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 36

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A1 - Start: 0 End: 4 Duration: 4 Cost: 14
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A3 - Start: 4 End: 9 Duration: 5 Cost: 26
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A2 - Start: 9 End: 11 Duration: 2 Cost: 4
 | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A4 - Start: 9 End: 17 Duration: 8 Cost: 44
 | R1 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2) | R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 6) | R3
 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A5 - Start: 9 End: 16 Duration: 7 Cost: 14
 | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A7 - Start: 11 End: 19 Duration: 8 Cost: 16
 | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A19 - Start: 17 End: 24 Duration: 7 Cost: 24
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A9 - Start: 19 End: 31 Duration: 12 Cost: 60
 | R2 Level 1 (Cost: 48 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A6 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 35
 | R2 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A11 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 24
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A25 - Start: 19 End: 22 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A8 - Start: 24 End: 34 Duration: 10 Cost: 30
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A10 - Start: 31 End: 34 Duration: 3 Cost: 10
 | R3 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A12 - Start: 34 End: 38 Duration: 4 Cost: 16
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A14 - Start: 34 End: 39 Duration: 5 Cost: 26
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)

Activity A13 - Start: 38 End: 40 Duration: 2 Cost: 12
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A17 - Start: 38 End: 41 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A15 - Start: 39 End: 44 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A16 - Start: 44 End: 52 Duration: 8 Cost: 22

| R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)
 Activity A18 - Start: 52 End: 57 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)
 Activity A20 - Start: 52 End: 60 Duration: 8 Cost: 16
 | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A21 - Start: 57 End: 63 Duration: 6 Cost: 22
 | R1 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)
 Activity A22 - Start: 57 End: 67 Duration: 10 Cost: 58
 | R2 Level 1 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)
 Activity A23 - Start: 63 End: 68 Duration: 5 Cost: 14
 | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)
 Activity A27 - Start: 67 End: 75 Duration: 8 Cost: 36
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A24 - Start: 68 End: 75 Duration: 7 Cost: 30
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A26 - Start: 75 End: 81 Duration: 6 Cost: 20
 | R1 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)
 Activity A29 - Start: 75 End: 79 Duration: 4 Cost: 14
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)
 Activity A28 - Start: 81 End: 87 Duration: 6 Cost: 12
 | R4 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

11. Resultado BW: 5000 ET: Cost

Project: rede de 30 atividades (C:\redes\30ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 5000 Evaluation type: Cost

Computation Time: 160,0847117 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 687

--> Total Project Cost: 557

--> Project Conclusion: 87

--> Activities Scheduling:

Activity A30 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 36

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A1 - Start: 0 End: 4 Duration: 4 Cost: 14

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A3 - Start: 4 End: 9 Duration: 5 Cost: 26

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)
 Activity A2 - Start: 9 End: 11 Duration: 2 Cost: 4
 | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)
 Activity A4 - Start: 9 End: 17 Duration: 8 Cost: 44
 | R1 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2) | R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 6) | R3
 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A5 - Start: 9 End: 16 Duration: 7 Cost: 14
 | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A7 - Start: 11 End: 19 Duration: 8 Cost: 16
 | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A19 - Start: 17 End: 24 Duration: 7 Cost: 24
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A9 - Start: 19 End: 31 Duration: 12 Cost: 60
 | R2 Level 1 (Cost: 48 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)
 Activity A6 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 35
 | R2 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7)
 Activity A11 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 24
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A25 - Start: 19 End: 22 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)
 Activity A8 - Start: 24 End: 34 Duration: 10 Cost: 30
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)
 Activity A10 - Start: 31 End: 34 Duration: 3 Cost: 10
 | R3 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)
 Activity A12 - Start: 34 End: 38 Duration: 4 Cost: 16
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)
 Activity A14 - Start: 34 End: 39 Duration: 5 Cost: 26
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)
 Activity A13 - Start: 38 End: 40 Duration: 2 Cost: 12
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)
 Activity A17 - Start: 38 End: 41 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)
 Activity A15 - Start: 39 End: 44 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)
 Activity A16 - Start: 44 End: 52 Duration: 8 Cost: 22
 | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)
 Activity A18 - Start: 52 End: 57 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A20 - Start: 52 End: 60 Duration: 8 Cost: 16
 | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A21 - Start: 57 End: 63 Duration: 6 Cost: 22
 | R1 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A22 - Start: 57 End: 67 Duration: 10 Cost: 58
 | R2 Level 1 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A23 - Start: 63 End: 68 Duration: 5 Cost: 14
 | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A27 - Start: 67 End: 75 Duration: 8 Cost: 36
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A24 - Start: 68 End: 75 Duration: 7 Cost: 30
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A26 - Start: 75 End: 81 Duration: 6 Cost: 20
 | R1 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A29 - Start: 75 End: 79 Duration: 4 Cost: 14
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A28 - Start: 81 End: 87 Duration: 6 Cost: 12
 | R4 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

12. Resultado BW: 10000 ET: Cost

Project: rede de 30 atividades (C:\redes\30ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 10000 Evaluation type: Cost

Computation Time: 242,2598753 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 687

--> Total Project Cost: 557

--> Project Conclusion: 87

--> Activities Scheduling:

Activity A30 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 36
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A1 - Start: 0 End: 4 Duration: 4 Cost: 14
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A3 - Start: 4 End: 9 Duration: 5 Cost: 26
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A2 - Start: 9 End: 11 Duration: 2 Cost: 4
 | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A4 - Start: 9 End: 17 Duration: 8 Cost: 44
 | R1 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2) | R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 6) | R3
 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A5 - Start: 9 End: 16 Duration: 7 Cost: 14
 | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A7 - Start: 11 End: 19 Duration: 8 Cost: 16
 | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A19 - Start: 17 End: 24 Duration: 7 Cost: 24
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A9 - Start: 19 End: 31 Duration: 12 Cost: 60
 | R2 Level 1 (Cost: 48 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A6 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 35
 | R2 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A11 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 24
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A25 - Start: 19 End: 22 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A8 - Start: 24 End: 34 Duration: 10 Cost: 30
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A10 - Start: 31 End: 34 Duration: 3 Cost: 10
 | R3 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A12 - Start: 34 End: 38 Duration: 4 Cost: 16
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A14 - Start: 34 End: 39 Duration: 5 Cost: 26
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)

Activity A13 - Start: 38 End: 40 Duration: 2 Cost: 12
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A17 - Start: 38 End: 41 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A15 - Start: 39 End: 44 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A16 - Start: 44 End: 52 Duration: 8 Cost: 22
 | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A18 - Start: 52 End: 57 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A20 - Start: 52 End: 60 Duration: 8 Cost: 16
 | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A21 - Start: 57 End: 63 Duration: 6 Cost: 22

| R1 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)
 Activity A22 - Start: 57 End: 67 Duration: 10 Cost: 58
 | R2 Level 1 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)
 Activity A23 - Start: 63 End: 68 Duration: 5 Cost: 14
 | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)
 Activity A27 - Start: 67 End: 75 Duration: 8 Cost: 36
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A24 - Start: 68 End: 75 Duration: 7 Cost: 30
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A26 - Start: 75 End: 81 Duration: 6 Cost: 20
 | R1 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)
 Activity A29 - Start: 75 End: 79 Duration: 4 Cost: 14
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)
 Activity A28 - Start: 81 End: 87 Duration: 6 Cost: 12
 | R4 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

13. Resultado BW: 50 ET: Duration

Project: rede de 30 atividades (C:\redes\30ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 50 Evaluation type: Duration

Computation Time: 1,2909171 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 668

--> Total Project Cost: 608

--> Project Conclusion: 94

--> Activities Scheduling:

Activity A30 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 36

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A1 - Start: 0 End: 4 Duration: 4 Cost: 14

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A3 - Start: 4 End: 9 Duration: 5 Cost: 26

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A2 - Start: 9 End: 11 Duration: 2 Cost: 4

| R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A4 - Start: 9 End: 17 Duration: 8 Cost: 44

| R1 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2) | R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 6) | R3

Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A5 - Start: 9 End: 16 Duration: 7 Cost: 14
 | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A7 - Start: 11 End: 19 Duration: 8 Cost: 16
 | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A19 - Start: 17 End: 24 Duration: 7 Cost: 24
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A9 - Start: 19 End: 31 Duration: 12 Cost: 60
 | R2 Level 1 (Cost: 48 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A6 - Start: 19 End: 23 Duration: 4 Cost: 16
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)

Activity A11 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 24
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A25 - Start: 19 End: 22 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A10 - Start: 24 End: 27 Duration: 3 Cost: 10
 | R3 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A12 - Start: 27 End: 31 Duration: 4 Cost: 16
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A8 - Start: 31 End: 41 Duration: 10 Cost: 30
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A17 - Start: 31 End: 34 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A13 - Start: 41 End: 43 Duration: 2 Cost: 12
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A14 - Start: 41 End: 46 Duration: 5 Cost: 26
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)

Activity A15 - Start: 46 End: 51 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A16 - Start: 51 End: 59 Duration: 8 Cost: 22
 | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A18 - Start: 59 End: 64 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A20 - Start: 59 End: 67 Duration: 8 Cost: 16
 | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A21 - Start: 64 End: 70 Duration: 6 Cost: 22
 | R1 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A22 - Start: 64 End: 74 Duration: 10 Cost: 58
 | R2 Level 1 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A23 - Start: 70 End: 75 Duration: 5 Cost: 14

| R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A27 - Start: 74 End: 82 Duration: 8 Cost: 36

| R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A24 - Start: 75 End: 82 Duration: 7 Cost: 30

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A26 - Start: 82 End: 88 Duration: 6 Cost: 20

| R1 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A29 - Start: 82 End: 86 Duration: 4 Cost: 14

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A28 - Start: 88 End: 94 Duration: 6 Cost: 12

| R4 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Project: rede de 30 atividades (C:\redes\30ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 50 Evaluation type: Cost

Computation Time: 0,2488655 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 696

--> Total Project Cost: 566

--> Project Conclusion: 87

--> Activities Scheduling:

Activity A30 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 36

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A1 - Start: 0 End: 4 Duration: 4 Cost: 14

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A3 - Start: 4 End: 9 Duration: 5 Cost: 26

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A2 - Start: 9 End: 11 Duration: 2 Cost: 4

| R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A4 - Start: 9 End: 17 Duration: 8 Cost: 44

| R1 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2) | R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 6) | R3

Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A5 - Start: 9 End: 16 Duration: 7 Cost: 14

| R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A7 - Start: 11 End: 19 Duration: 8 Cost: 16

| R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A19 - Start: 17 End: 24 Duration: 7 Cost: 24

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A9 - Start: 19 End: 31 Duration: 12 Cost: 60
 | R2 Level 1 (Cost: 48 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)
 Activity A6 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 35
 | R2 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7)
 Activity A11 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 24
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A25 - Start: 19 End: 24 Duration: 5 Cost: 15
 | R1 Level 2 (Cost: 15 Duration: 5)
 Activity A8 - Start: 24 End: 34 Duration: 10 Cost: 30
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)
 Activity A10 - Start: 31 End: 34 Duration: 3 Cost: 10
 | R3 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)
 Activity A12 - Start: 34 End: 38 Duration: 4 Cost: 16
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)
 Activity A14 - Start: 34 End: 39 Duration: 5 Cost: 26
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)
 Activity A13 - Start: 38 End: 40 Duration: 2 Cost: 12
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)
 Activity A17 - Start: 38 End: 41 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)
 Activity A15 - Start: 39 End: 44 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)
 Activity A16 - Start: 44 End: 52 Duration: 8 Cost: 22
 | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)
 Activity A18 - Start: 52 End: 57 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)
 Activity A20 - Start: 52 End: 60 Duration: 8 Cost: 16
 | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A21 - Start: 57 End: 63 Duration: 6 Cost: 22
 | R1 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)
 Activity A22 - Start: 57 End: 67 Duration: 10 Cost: 58
 | R2 Level 1 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)
 Activity A23 - Start: 63 End: 68 Duration: 5 Cost: 14
 | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)
 Activity A27 - Start: 67 End: 75 Duration: 8 Cost: 36
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A24 - Start: 68 End: 75 Duration: 7 Cost: 30

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A26 - Start: 75 End: 81 Duration: 6 Cost: 20
 | R1 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)
 Activity A29 - Start: 75 End: 79 Duration: 4 Cost: 14
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)
 Activity A28 - Start: 81 End: 87 Duration: 6 Cost: 12
 | R4 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

14. Resultado BW: 500 ET: Duration

Project: rede de 30 atividades (C:\redes\30ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 500 Evaluation type: Duration

Computation Time: 2,6842198 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 746

--> Total Project Cost: 616

--> Project Conclusion: 87

--> Activities Scheduling:

Activity A30 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 36

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A1 - Start: 0 End: 4 Duration: 4 Cost: 14

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A3 - Start: 4 End: 9 Duration: 5 Cost: 26

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A2 - Start: 9 End: 11 Duration: 2 Cost: 4

| R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A4 - Start: 9 End: 17 Duration: 8 Cost: 44

| R1 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2) | R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 6) | R3

Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A5 - Start: 9 End: 17 Duration: 8 Cost: 64

| R4 Level 4 (Cost: 64 Duration: 8)

Activity A7 - Start: 11 End: 19 Duration: 8 Cost: 16

| R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A19 - Start: 17 End: 24 Duration: 7 Cost: 24

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A6 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 35

| R2 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A9 - Start: 19 End: 31 Duration: 12 Cost: 60
 | R2 Level 1 (Cost: 48 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A11 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 24
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A25 - Start: 19 End: 24 Duration: 5 Cost: 15
 | R1 Level 2 (Cost: 15 Duration: 5)

Activity A8 - Start: 24 End: 34 Duration: 10 Cost: 30
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A10 - Start: 31 End: 34 Duration: 3 Cost: 10
 | R3 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A12 - Start: 34 End: 38 Duration: 4 Cost: 16
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A14 - Start: 34 End: 39 Duration: 5 Cost: 26
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)

Activity A13 - Start: 38 End: 40 Duration: 2 Cost: 12
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A17 - Start: 38 End: 41 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A15 - Start: 39 End: 44 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A16 - Start: 44 End: 52 Duration: 8 Cost: 22
 | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A18 - Start: 52 End: 57 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A20 - Start: 52 End: 60 Duration: 8 Cost: 16
 | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A21 - Start: 57 End: 63 Duration: 6 Cost: 22
 | R1 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A22 - Start: 57 End: 67 Duration: 10 Cost: 58
 | R2 Level 1 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A23 - Start: 63 End: 68 Duration: 5 Cost: 14
 | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A27 - Start: 67 End: 75 Duration: 8 Cost: 36
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A24 - Start: 68 End: 75 Duration: 7 Cost: 30
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A26 - Start: 75 End: 81 Duration: 6 Cost: 20
 | R1 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A29 - Start: 75 End: 79 Duration: 4 Cost: 14

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A28 - Start: 81 End: 87 Duration: 6 Cost: 12

| R4 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

15. Resultado BW: 1000 ET: Duration

Project: rede de 30 atividades (C:\redes\30ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 1000 Evaluation type: Duration

Computation Time: 13,9338017 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 746

--> Total Project Cost: 616

--> Project Conclusion: 87

--> Activities Scheduling:

Activity A30 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 36

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A1 - Start: 0 End: 4 Duration: 4 Cost: 14

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A3 - Start: 4 End: 9 Duration: 5 Cost: 26

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A2 - Start: 9 End: 11 Duration: 2 Cost: 4

| R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A4 - Start: 9 End: 17 Duration: 8 Cost: 44

| R1 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2) | R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 6) | R3

Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A5 - Start: 9 End: 17 Duration: 8 Cost: 64

| R4 Level 4 (Cost: 64 Duration: 8)

Activity A7 - Start: 11 End: 19 Duration: 8 Cost: 16

| R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A19 - Start: 17 End: 24 Duration: 7 Cost: 24

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A6 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 35

| R2 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A9 - Start: 19 End: 31 Duration: 12 Cost: 60

| R2 Level 1 (Cost: 48 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A11 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 24

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A25 - Start: 19 End: 24 Duration: 5 Cost: 15
 | R1 Level 2 (Cost: 15 Duration: 5)
 Activity A8 - Start: 24 End: 34 Duration: 10 Cost: 30
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)
 Activity A10 - Start: 31 End: 34 Duration: 3 Cost: 10
 | R3 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)
 Activity A12 - Start: 34 End: 38 Duration: 4 Cost: 16
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)
 Activity A14 - Start: 34 End: 39 Duration: 5 Cost: 26
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)
 Activity A13 - Start: 38 End: 40 Duration: 2 Cost: 12
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)
 Activity A17 - Start: 38 End: 41 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)
 Activity A15 - Start: 39 End: 44 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)
 Activity A16 - Start: 44 End: 52 Duration: 8 Cost: 22
 | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)
 Activity A18 - Start: 52 End: 57 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)
 Activity A20 - Start: 52 End: 60 Duration: 8 Cost: 16
 | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A21 - Start: 57 End: 63 Duration: 6 Cost: 22
 | R1 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)
 Activity A22 - Start: 57 End: 67 Duration: 10 Cost: 58
 | R2 Level 1 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)
 Activity A23 - Start: 63 End: 68 Duration: 5 Cost: 14
 | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)
 Activity A27 - Start: 67 End: 75 Duration: 8 Cost: 36
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A24 - Start: 68 End: 75 Duration: 7 Cost: 30
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A26 - Start: 75 End: 81 Duration: 6 Cost: 20
 | R1 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)
 Activity A29 - Start: 75 End: 79 Duration: 4 Cost: 14
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)
 Activity A28 - Start: 81 End: 87 Duration: 6 Cost: 12

| R4 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6))

16. Resultado BW: 2000 ET: Duration

Project: rede de 30 atividades (C:\redes\30ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 2000 Evaluation type: Duration

Computation Time: 51,8746198 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 746

--> Total Project Cost: 616

--> Project Conclusion: 87

--> Activities Scheduling:

Activity A30 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 36

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A1 - Start: 0 End: 4 Duration: 4 Cost: 14

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A3 - Start: 4 End: 9 Duration: 5 Cost: 26

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A2 - Start: 9 End: 11 Duration: 2 Cost: 4

| R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A4 - Start: 9 End: 17 Duration: 8 Cost: 44

| R1 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2) | R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 6) | R3

Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A5 - Start: 9 End: 17 Duration: 8 Cost: 64

| R4 Level 4 (Cost: 64 Duration: 8)

Activity A7 - Start: 11 End: 19 Duration: 8 Cost: 16

| R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A19 - Start: 17 End: 24 Duration: 7 Cost: 24

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A6 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 35

| R2 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A9 - Start: 19 End: 31 Duration: 12 Cost: 60

| R2 Level 1 (Cost: 48 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A11 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 24

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A25 - Start: 19 End: 24 Duration: 5 Cost: 15

| R1 Level 2 (Cost: 15 Duration: 5)

Activity A8 - Start: 24 End: 34 Duration: 10 Cost: 30
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A10 - Start: 31 End: 34 Duration: 3 Cost: 10
 | R3 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A12 - Start: 34 End: 38 Duration: 4 Cost: 16
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A14 - Start: 34 End: 39 Duration: 5 Cost: 26
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)

Activity A13 - Start: 38 End: 40 Duration: 2 Cost: 12
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A17 - Start: 38 End: 41 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A15 - Start: 39 End: 44 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A16 - Start: 44 End: 52 Duration: 8 Cost: 22
 | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A18 - Start: 52 End: 57 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A20 - Start: 52 End: 60 Duration: 8 Cost: 16
 | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A21 - Start: 57 End: 63 Duration: 6 Cost: 22
 | R1 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A22 - Start: 57 End: 67 Duration: 10 Cost: 58
 | R2 Level 1 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A23 - Start: 63 End: 68 Duration: 5 Cost: 14
 | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A27 - Start: 67 End: 75 Duration: 8 Cost: 36
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A24 - Start: 68 End: 75 Duration: 7 Cost: 30
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A26 - Start: 75 End: 81 Duration: 6 Cost: 20
 | R1 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A29 - Start: 75 End: 79 Duration: 4 Cost: 14
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A28 - Start: 81 End: 87 Duration: 6 Cost: 12
 | R4 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

17. Resultado BW: 5000 ET: Duration

Project: rede 30 atividades (C:\redes\30ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 5000 Evaluation type: Duration

Computation Time: 163,6480543 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 746

--> Total Project Cost: 616

--> Project Conclusion: 87

--> Activities Scheduling:

Activity A30 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 36

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A1 - Start: 0 End: 4 Duration: 4 Cost: 14

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A3 - Start: 4 End: 9 Duration: 5 Cost: 26

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A2 - Start: 9 End: 11 Duration: 2 Cost: 4

| R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A4 - Start: 9 End: 17 Duration: 8 Cost: 44

| R1 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2) | R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 6) | R3

Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A5 - Start: 9 End: 17 Duration: 8 Cost: 64

| R4 Level 4 (Cost: 64 Duration: 8)

Activity A7 - Start: 11 End: 19 Duration: 8 Cost: 16

| R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A19 - Start: 17 End: 24 Duration: 7 Cost: 24

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A6 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 35

| R2 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A9 - Start: 19 End: 31 Duration: 12 Cost: 60

| R2 Level 1 (Cost: 48 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A11 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 24

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A25 - Start: 19 End: 24 Duration: 5 Cost: 15

| R1 Level 2 (Cost: 15 Duration: 5)

Activity A8 - Start: 24 End: 34 Duration: 10 Cost: 30

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A10 - Start: 31 End: 34 Duration: 3 Cost: 10
 | R3 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A12 - Start: 34 End: 38 Duration: 4 Cost: 16
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A14 - Start: 34 End: 39 Duration: 5 Cost: 26
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)

Activity A13 - Start: 38 End: 40 Duration: 2 Cost: 12
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A17 - Start: 38 End: 41 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A15 - Start: 39 End: 44 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A16 - Start: 44 End: 52 Duration: 8 Cost: 22
 | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)

Activity A18 - Start: 52 End: 57 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)

Activity A20 - Start: 52 End: 60 Duration: 8 Cost: 16
 | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A21 - Start: 57 End: 63 Duration: 6 Cost: 22
 | R1 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A22 - Start: 57 End: 67 Duration: 10 Cost: 58
 | R2 Level 1 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)

Activity A23 - Start: 63 End: 68 Duration: 5 Cost: 14
 | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A27 - Start: 67 End: 75 Duration: 8 Cost: 36
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A24 - Start: 68 End: 75 Duration: 7 Cost: 30
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A26 - Start: 75 End: 81 Duration: 6 Cost: 20
 | R1 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A29 - Start: 75 End: 79 Duration: 4 Cost: 14
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A28 - Start: 81 End: 87 Duration: 6 Cost: 12
 | R4 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

18. Resultado BW: 10000 ET: Duration

Project: rede de 30 atividades (C:\redes\30ActNet.xml)

FBS Algorithm

Beam Width: 10000 Evaluation type: Duration

Computation Time: 346,840579 seconds

Solution

--> Project cost without penalty or Bonus: 746

--> Total Project Cost: 616

--> Project Conclusion: 87

--> Activities Scheduling:

Activity A30 - Start: 0 End: 10 Duration: 10 Cost: 36

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A1 - Start: 0 End: 4 Duration: 4 Cost: 14

| R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)

Activity A3 - Start: 4 End: 9 Duration: 5 Cost: 26

| R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)

Activity A2 - Start: 9 End: 11 Duration: 2 Cost: 4

| R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A4 - Start: 9 End: 17 Duration: 8 Cost: 44

| R1 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2) | R2 Level 1 (Cost: 24 Duration: 6) | R3

Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A5 - Start: 9 End: 17 Duration: 8 Cost: 64

| R4 Level 4 (Cost: 64 Duration: 8)

Activity A7 - Start: 11 End: 19 Duration: 8 Cost: 16

| R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)

Activity A19 - Start: 17 End: 24 Duration: 7 Cost: 24

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A6 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 35

| R2 Level 2 (Cost: 35 Duration: 7)

Activity A9 - Start: 19 End: 31 Duration: 12 Cost: 60

| R2 Level 1 (Cost: 48 Duration: 12) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

Activity A11 - Start: 19 End: 26 Duration: 7 Cost: 24

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)

Activity A25 - Start: 19 End: 24 Duration: 5 Cost: 15

| R1 Level 2 (Cost: 15 Duration: 5)

Activity A8 - Start: 24 End: 34 Duration: 10 Cost: 30

| R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 20 Duration: 10)

Activity A10 - Start: 31 End: 34 Duration: 3 Cost: 10

| R3 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)

Activity A12 - Start: 34 End: 38 Duration: 4 Cost: 16

| R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)
 Activity A14 - Start: 34 End: 39 Duration: 5 Cost: 26
 | R1 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4)
 Activity A13 - Start: 38 End: 40 Duration: 2 Cost: 12
 | R2 Level 1 (Cost: 8 Duration: 2) | R3 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)
 Activity A17 - Start: 38 End: 41 Duration: 3 Cost: 6
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)
 Activity A15 - Start: 39 End: 44 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)
 Activity A16 - Start: 44 End: 52 Duration: 8 Cost: 22
 | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8) | R4 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3)
 Activity A18 - Start: 52 End: 57 Duration: 5 Cost: 20
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5)
 Activity A20 - Start: 52 End: 60 Duration: 8 Cost: 16
 | R4 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A21 - Start: 57 End: 63 Duration: 6 Cost: 22
 | R1 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6) | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5)
 Activity A22 - Start: 57 End: 67 Duration: 10 Cost: 58
 | R2 Level 1 (Cost: 40 Duration: 10) | R3 Level 1 (Cost: 18 Duration: 9)
 Activity A23 - Start: 63 End: 68 Duration: 5 Cost: 14
 | R3 Level 1 (Cost: 10 Duration: 5) | R4 Level 1 (Cost: 4 Duration: 2)
 Activity A27 - Start: 67 End: 75 Duration: 8 Cost: 36
 | R2 Level 1 (Cost: 20 Duration: 5) | R3 Level 1 (Cost: 16 Duration: 8)
 Activity A24 - Start: 68 End: 75 Duration: 7 Cost: 30
 | R2 Level 1 (Cost: 16 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 14 Duration: 7)
 Activity A26 - Start: 75 End: 81 Duration: 6 Cost: 20
 | R1 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4) | R3 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)
 Activity A29 - Start: 75 End: 79 Duration: 4 Cost: 14
 | R1 Level 1 (Cost: 6 Duration: 3) | R3 Level 1 (Cost: 8 Duration: 4)
 Activity A28 - Start: 81 End: 87 Duration: 6 Cost: 12
 | R4 Level 1 (Cost: 12 Duration: 6)

